

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA-CIAGA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**

**APLICABILIDADE DO TROCADOR DE CALOR TIPO TUBO E  
CARÇAÇA DIMENSIONADA PARA USO DE BORDO**

**RIO DE JANEIRO, 2012**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA-CIAGA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**

**MAURICIO TAVARES DA SILVA SOBRINHO**

**APLICABILIDADE DO TROCADOR DE CALOR TIPO TUBO E  
CARCAÇA DIMENSIONADA PARA USO DE BORDO**

**RIO DE JANEIRO, 2012**

**MAURICIO TAVARES DA SILVA SOBRINHO**

**APLICABILIDADE DO TROCADOR DE CALOR TIPO TUBO E  
CARÇAÇA DIMENSIONADA PARA USO DE BORDO**

Monografia apresentado como quesito  
necessário à conclusão do Curso de  
Aperfeiçoamento para Oficial de maquinas.

Orientador: Professor OSM  
Ramesses Cezar da Silva Ramos

**RIO DE JANEIRO 2012**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA-CIAGA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MAQUINAS**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**APLICABILIDADE DO TROCADOR DE CALOR TIPO TUBO E  
CARCAÇA DIMENSIONADA PARA USO DE BORDO**

Por

**MAURICIO TAVARES DA SILVA SOBRINHO**

Este estudo monográfico tem como requisito para obter do certificado para a função de Primeiro oficial de maquinas, tendo sido aprovado pela Banca Examinadora.

**BANCA EXAMINADORA**

**NOTA:\_\_\_\_\_**

---

**Profº**

Orientador – CIAGA

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Profª**

Examinador – CIAGA

---

**Profº**

Examinador – CIAGA

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela força em todos os momentos.

Aos meus pais, Julio Walter Tavares da Silva e Carmen Lucia da Silva que me cercaram de cuidados e oportunidade para estudar e crescer.

Aos meus Irmãos Walmen Tavares e a Jucia Tavares são um exemplo de união.

Ao Professor OSM Ramesses Cezar da Silva Ramos pela orientação na construção deste trabalho.

A todos meus amigos que sempre me ajudaram e torceram por mim durante essa caminhada.

A banca, que fizeram a gentileza e pelas considerações que certamente colaboraram para melhoria deste trabalho.

A todas as pessoas que passaram em minha vida e me transmitiram algum conhecimento, deixando sabedoria para meu crescimento pessoal e profissional.

## EPIGRAFE

“Estar no poder é como ser uma dama. Se tiver que lembrar às pessoas que é, você não é.”

Margaret Thatcher,  
O Monge e o Executivo

## RESUMO

O trabalho do trocador de calor Carcaça e tubo Tipo 1-2 pode demonstrar o quanto é importante para melhorar o seu rendimento térmico. Com isso, quando o Carcaça e Tubo Tipo 1-2 trabalha em condições normais de operação a bordo apresenta um bom desempenho na transferência térmica entre os fluidos, e com um dimensionamento favorável para os navios.

Palavras-chave: Eficiência Térmica, Rendimento térmico, Fator de incrustação, Isolamento térmico.

## **ABSTRACT**

The Shell and Type 1-2 heat exchanger the job can show how much is important to improve its thermal efficiency. However if the good maintenances procedures would not taken in order to keep the normal operation conditions, a decrease in its thermal efficiency will take place. Then, when the Shell and Type 1-2 heat exchanger works in normal operation conditions onboard of a vessel, it shows a good performance in the thermal transference between the fluids with a favorable dimension to the vessel.

Keywords: Thermal Efficiency, Thermal performance, Scale Factor, Thermal insulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figure 2-1 Sistema de aquecimento solar residencial.....	17
Figure 3-1. Classificação De Trocador De Calor.....	22
Figure 3-2. Processos de transferência .....	22
Figure 3-3. Trocador de transferência direta.....	23
Figure 3-4. Trocador de calor regenerador .....	24
Figure 3-5. Trocador de calor contato direto .....	25
Figure 3-6. Tipo de Construção .....	25
Figure 3-7. Trocador de Calor Carcaça e Tubo. ....	26
Figure 3-8. Trocador de Calor Tubo Duplo .....	27
Figure 3-9. Trocador de Calor de Serpentina.....	28
Figure 3-10. Trocador de calor tipo placas .....	29
Figure 4-1. circuito térmico equivalente .....	30
Figure 4-2 Resistência.....	31
Figure 4-3. Demonstração das correntes.....	32
Figure 4-4. Trocador de Calor tipo Tubo - Carcaça.....	33
Figure 5-1. Incrustação.....	35
Figure 6-1 Llimpeza do trocador de calor. ....	37
Figure 6-2. Posições dos feixes tubulares (Fonte: Mukherjee, 1998).....	39
Figure 6-3. Ilustração dos tipos de chicanas (Fonte: Mukherjee, 1998). ....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1. Ordem de Grandeza da Contabilidade Térmica. ....	18
Tabela 2-2. Valores de hc recomendados .....	21
Tabela 5-1. Resistências de Incrustação. ....	36

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2-1 fluxo de calor. ....	16
Equação 2-2 integral cíclica do calor .....	16
Equação 2-3. Fluxo de Calor .....	18
Equação 2-4. Calor Transmitido por convecção .....	19
Equação 2-5. Coeficiente local de transmissão de calor .....	20
Equação 2-6. Condutância Térmica .....	20
Equação 2-7. Calor transmitido por resistência térmica .....	20
Equação 2-8. Calor transmitido por convecção por resistência .....	20
Equação 4-1. Efeito Global da Convecção .....	30
Equação 4-2. Calor Trocado.....	31
Equação 5-1. Coeficiente Global .....	35
Equação 5-2 cálculo da resistência. ....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- Q - Taxa ou quantidade de calor trocada por unidade de tempo
- K - Condutibilidade térmica
- A - Área de seção de troca de calor
- T - Temperatura
- $h_{cm}$  - Coeficiente médio de transferência de calor por convecção
- $h_c$  - Coeficiente local de transferência de calor por convecção
- C - Condutância térmica
- R.-.Resistencia térmica
- Req.- Resistência térmica equivalência
- E- poder de emissão total de um corpo qualquer
- A - Área media logarítmica
- K – Coeficiente de temperatura da Condutibilidade Térmica
- U – Coeficiência global de transferência de calor
- q – Fluxo de Calor por unidade de tempo
- q – Geração de energia interna em volume
- t - tempo
- E – variação de energia
- Qg- Calor gerado num volume V qualquer
- L- Comprimento característico
- Dv - derivada característico
- P-Pressão
- Dv - difusividade de massa
- Tb- Temperatura bulk
- DH- Diâmetro Hidráulico
- f-Fator de Atrito
- b1, b2-Controle de bomba
- F- Fator de Forma generalizada
- Rc- Resistência térmica de incrustação
- Ç- Função genérica
- Kc- Função calórica
- Tqe - Temperatura de entrada de fluido quente

$T_{qs}$  - Temperatura de saída do fluido quente

$T_{fe}$  - Temperatura de entrada do fluido frio

$T_{fs}$ - Coeficiente médio de TRC do fluido no exterior dos tubos Temperatura de saída do fluido frio

Chamado de  $C$  a capacidade térmica do fluido, tem-se:

$C_q$ - Capacidade térmica do fluido quente

$C_f$ - Capacidade térmica do fluido frio

$U_p$ - Coeficiente Global de TRC de projeto, baseado numa área unitária de superfície externa do tubo.

$H_e$ - Coeficiente médio de TRC do fluido no exterior dos tubos

$H_i$  - Coeficiente médio de TRC do fluido no interior dos tubos

$R_e$  - Resistência de incrustação por unidade de área no exterior dos tubos

$R_i$ -Resistência de incrustação por unidade de área no interior dos tubos

$R_k$ - Resistência dos tubos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. MOTIVAÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. HIPÓTESES.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. MODOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. LEIS BÁSICAS DA TRANSMISSÃO DE CALOR .....</b>	<b>17</b>
2.3.1. Transmissão de calor por condução .....	17
2.3.2. Transmissão de calor por convecção.....	19
<b>3. TROCADOR DE CALOR E SUA FINALIDADE A BORDO.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. CLASSIFICAÇÃO DE TROCADOR DE CALOR .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA .....</b>	<b>22</b>
3.2.1. Trocadores de Calor de Contato Indireto .....	22
3.2.2. Tipo de Trocadores de Transferência Direta .....	23
3.2.3. Trocadores De Armazenamento .....	23
3.2.4. Trocadores de Calor de Contato Direto.....	24
<b>3.3. CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO A CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
3.3.1. Trocadores Tubulares.....	26
3.3.1.1. Trocadores de Carcaça e Tubo .....	26
3.3.1.2. Trocador Tubo Duplo .....	27
3.3.1.3. Trocador de Calor de Serpentina .....	27
3.3.2. Trocadores de Calor Tipo Placa.....	29
<b>4. COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA DE CALOR .....</b>	<b>30</b>
<b>5. FATOR DE INCRUSTAÇÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. MODOS DE INCRUSTAÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....</b>	<b>35</b>
<b>6. TROCADORES CASCO E TUBOS.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1. CASCO - TUBO.....</b>	<b>37</b>
<b>7. ISOLAMENTO TÉRMICO.....</b>	<b>41</b>
<b>7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE ISOLANTE TÉRMICO.....</b>	<b>41</b>
<b>7.2. CONCEITUAÇÃO, FINALIDADE E MATERIAIS ISOLANTES.....</b>	<b>41</b>
<b>7.3. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS ISOLANTES TÉRMICOS .....</b>	<b>44</b>
7.3.1. Propriedades térmicas .....	45
7.3.2. Fatores que afetam a condutividade térmica .....	45
7.3.3. Propriedades mecânicas.....	46
7.3.4. Propriedades relativas à umidade .....	47
7.3.5. Saúde e segurança.....	47
<b>8. CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>49</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. MOTIVAÇÃO**

Na Transmissão de Calor, frequentemente, estamos interessados em transferir energia térmica de um sistema para a vizinhança ou entres partes de um sistema. Isto é feito através de um equipamento, chamado de trocador de calor, e exemplos específicos de sua utilização podem ser encontrados no aquecimento e no condicionamento de ar, produção de energia, na recuperação de processo, muito comum de serem encontradas em indústrias ou abordo de embarcações marítimas. Podem-se classificar os trocadores de diversas maneiras: quanto ao modo de troca de calor, quanto ao modo de trocar de calor, quanto ao número de fluidos, tipo de construção. De uma forma mais básica, duas classificações vão nos interessar: aquele que divide os trocadores entre aqueles que utilizam o contato direto e os de contato indireto e uma outra que os classificam em função de sua construção.

O sistema de aplicação do trocador de calor tipo carcaça e tubo consistem em uma aplicação para facilitar o reconhecimento dos tipos de trocadores de calor existente. E como o peso e as dimensões dos trocadores de calor são fatores importantes no custo final do equipamento e pode comprometer o custo x benefício de uma empresa de navegação, certamente, poderia transporta mais carga com o uso de trocador de calor mais leve. Portanto, o trabalho sobre o trocador de calor tipo carcaça e tubo visa também que o usuário possa determinar o material mais viável para a concretização de um futuro projeto com o máximo de segurança.

## 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo da monografia é aplicar os conhecimentos físicos aos processos pelos quais o calor é transferido, com ferramenta da matemática necessária para obter soluções qualitativas e quantitativas.

Os objetivos específicos que foram propostos a estudar neste trabalho são:

- a) Identificar as mudanças, envolvendo uma ou mais formas de transferência de calor.
- b) Descrever a análise térmica de trocador de calor.
- c) Quais as possíveis tecnologias que poderiam ser acrescentadas como ferramentas para aprimorar o projeto do trocador de calor tipo carcaça e tubo.

## 1.3. HIPÓTESES

As hipóteses a serem trabalhadas na avaliação foram:

- a) Aprendizagem permite aos leitores que pretendem de uma forma agradável, rápida e eficaz a compreender a importância do trocador de calor a bordo.
- b) Descrição dos trocadores e a importância do Tubo e Carcaça no seu melhor rendimento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na transmissão de calor busca-se prever a transferência de energia no interior de um sistema, como resultado de um diferencial de temperatura.

Assim, estudaremos os modos pelos quais é transmitido, com ferramentas matemáticas capazes de resolver problemas práticos.

#### 1º LEI DA TERMODINÂMICA

Equação 2-1 fluxo de calor.

$$dE = dQ + dW$$

O fluxo de calor é igual a variação da energia o fluxo de trabalho do sistema.

#### 2º LEI DA TERMODINÂMICA

Equação 2-2 integral cíclica do calor

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \therefore \delta S \leq 0$$

A integral cíclica do calor é igual a zero ou a variação de entropia do sistema é menor ou igual a zero.

### 2.2. MODOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR.

Na literatura existente, são estudados três modos distintos de transmissão de calor:

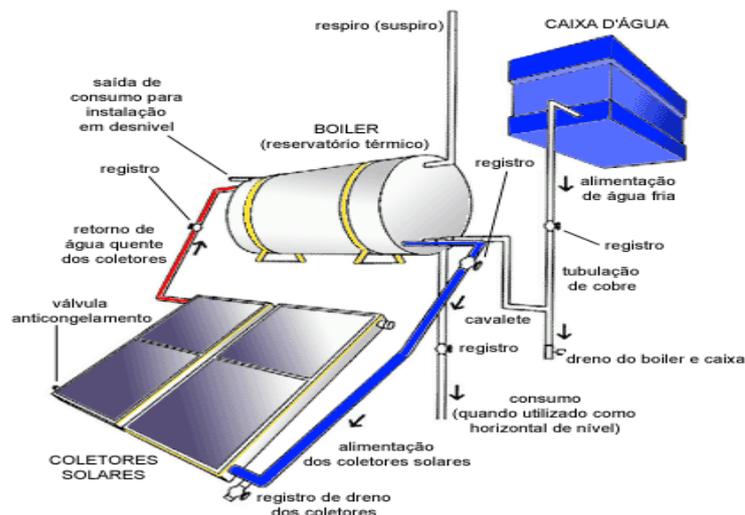
**-Condução** - É o processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contatos físicos. Neste modo de transmissão de calor, a energia é transmitida por meio de comunicação molecular direta, sem apreciável deslocamento das moléculas.

**-Convecção** - É um processo de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. A convecção é importante principalmente como mecanismo de transferência de energia entre uma superfície sólida e um líquido ou um gás.

**-Radiação** - É o processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo de alta temperatura para um corpo de baixa, quando tais corpos estão separados no espaço.

Na maioria dos problemas práticos da engenharia, o calor não flui apenas por desses modos, mas sim por mais de um simultaneamente. O que se costuma fazer na prática é verificar qual dos modos de transmissão de calor é predominante no problema e resolver com soluções aproximadas, sem esquecer de que qualquer mudança de condição da sistema, poderá levar a consideração de um modo de transmissão de calor.

Figure 2-1 Sistema de aquecimento solar residencial.



FONTE: [www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br)

## 2.3. LEIS BÁSICAS DA TRANSMISSÃO DE CALOR

### 2.3.1. Transmissão de calor por condução

A relação básica para a transmissão do calor por condução foi proposta por FOURIER EM 1822. Ela estabelece que o calor transmitido por condução por unidade de tempo em um sistema é igual ao produto da condutividade térmica do material, da área de seção através da qual o calor flui por condução, medida perpendicularmente à direção do fluxo de calor e o gradiente de temperatura na seção.

Portanto:

Equação 2-3. Fluxo de Calor

$$Q = -K.A. \frac{\delta T}{\delta x}$$

A condutividade ou condutibilidade térmica de um material é a capacidade que o material tem em deixar passar mais ou menos calor. Portanto, a definição de material isolante de calor se faz pelo valor de sua condutibilidade térmica.

As ordens de grandeza da condutibilidade térmica de várias classes de materiais poderão ser visitadas na tabela abaixo.

Tabela 2-1. Ordem de Grandeza da Condutibilidade Térmica.

	<b>Kcal/hm<sup>o</sup> C</b>	<b>W/mk</b>
<b>Gases à pressão atmosférica</b>	0,006-0,15	0,0069-0,17
<b>Materiais Isolantes</b>	0,03-0,18	0,034-0,21
<b>Líquidos não-metálicos</b>	0,07-0,60 •	0,086-0,69
<b>Sólidos não-metálicos(Tijolo, pedra, cimento)</b>	0,03-2,20	0,034-2,6
<b>Metais Líquidos</b>	7,5-65	8,6-76
<b>Ligas Metálicas</b>	12-100	14-120
<b>Metais Puros</b>	45-360	52-410

Fonte: Livro do Frank kreith .cap 11.

Portanto, os materiais que tem alta condutibilidade térmica são chamados de condutores de calor, e os de baixa condutibilidade são chamados de isolantes de calor.

Deve-se levar em conta de que a condutibilidade térmica de um material varia com a temperatura, mas em muitos problemas de engenharia (dependendo é claro, do diferencial de temperatura) esta variação é suficiente pequena que pode ser desprezada. Portanto, a princípio devemos observar que:

K é função da temperatura –K=f(T)

### 2.3.2. Transmissão de calor por convecção

A proporção feita por Isaac Newton em 1701 é que o calor transmitido por unidade de tempo por convecção entre uma superfície e um fluido, pode ser calculado por:

Equação 2-4. Calor Transmitido por convecção

$$Q = \bar{h} \cdot c \cdot A \cdot \Delta T$$

Sendo:

Q- A quantidade ou taxa de calor transferida por unidade de tempo por convecção (Kcal/h, BTU/h ou W).

hc – Coeficiente médio de transmissão de calor por convecção (Kcal/hm<sup>2</sup> °C, BTU/h).

Área de transmissão de calor, medida na perpendicular à direção do fluxo de calor (m<sup>2</sup>, pe<sup>2</sup> ou Pol<sup>2</sup>).

ΔT – Diferença de Temperatura entre a superfície e a do fluido (°C, °F)

A incógnita em um Problema de transmissão de calor por convecção está no hc, pois este depende da geometria da superfície, velocidade, propriedades

termofísicas dos fluidos e de outros parâmetros que possam influenciar no valor de  $h_c$ .

O coeficiente local de transmissão de calor por convecção é definido como:

Equação 2-5. Coeficiente local de transmissão de calor

$$\frac{dQ}{dA} = h_c \cdot \Delta T$$

Condutância Térmica para convecção.

Equação 2-6. Condutância Térmica

$$C = \bar{h} \cdot c \cdot A$$

Resistência Térmica para convecção

Equação 2-7. Calor transmitido por resistência térmica

$$R = \frac{1}{\bar{h} \cdot c \cdot A} = \frac{1}{C}$$

Portanto, pode-se escrever a equação para o calor transmitido por convecção em termos da resistência para convecção na forma:

Equação 2-8. Calor transmitido por convecção por resistência

$$Q = C \cdot \Delta T = \frac{\Delta T}{R}$$

Modos de transmissão de calor por convecção:

-Convecção Natural ou livre caracterizada pelas forças de corpo.

Exemplo: água sendo aquecida em um recipiente.

-Convecção Forçada. Caracterizada pelas forças externas.

Exemplos: ventiladores, bombas.

-Alguns valores de  $h_c$  recomendados:

Tabela 2-2. Valores de  $h_c$  recomendados

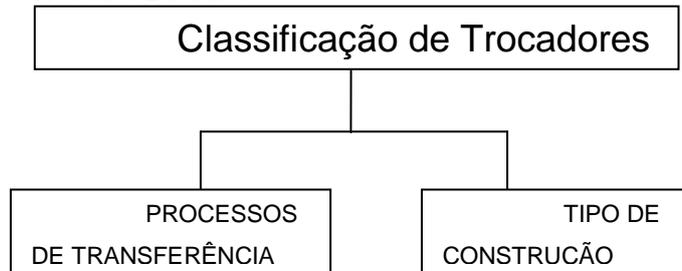
	<b>Kcal/hm<sup>2</sup></b>
<b>Ar, Convecção Natural</b>	5-25
<b>Vapor ou Ar Superaquecido, Convecção Forçada</b>	25-250
<b>Óleo, Convecção Forçada</b>	50-1500
<b>Água, Convecção Forçada</b>	250-10 <sup>3</sup>

*Fonte: Livro do Frank kreith .cap 11.*

### 3. TROCADOR DE CALOR E SUA FINALIDADE A BORDO.

#### 3.1. CLASSIFICAÇÃO DE TROCADOR DE CALOR

Figure 3-1. Classificação De Trocador De Calor

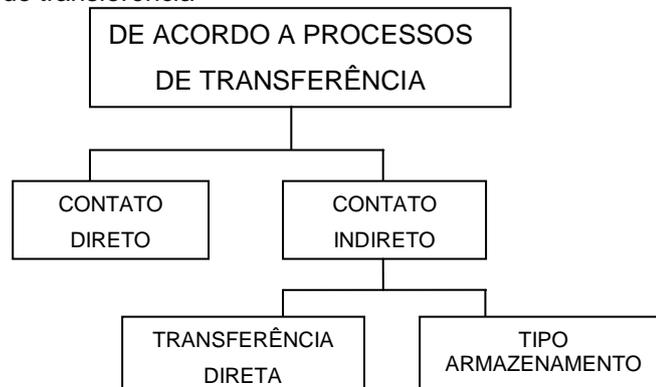


Fonte: Pessoais

#### 3.2. CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA

Nesta categoria, trocadores de calor são classificados em: contato indireto e contato direto.

Figure 3-2. Processos de transferência



Fonte: Pessoais

##### 3.2.1. Trocadores de Calor de Contato Indireto

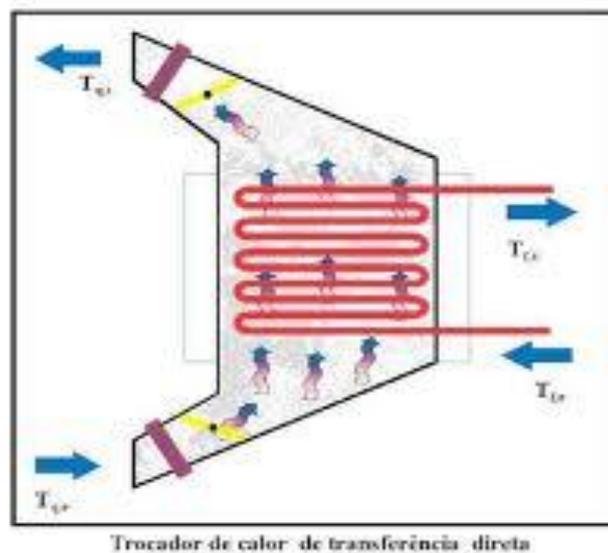
Em um trocador de calor de contato indireto, os fluídos permanecem separados e o calor é transferido continuamente através de uma parede, pela qual se realiza a transferência de calor.

Os trocadores de contato indireto classificam-se em: trocadores de transferência direta e de armazenamento.

### 3.2.2. Tipo de Trocadores de Transferência Direta

Neste tipo, há um fluxo de calor do fluído quente ao frio através de uma parede que os separa. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separadas. Este trocador é designado como um trocador de calor de recuperação, ou simplesmente como um *recuperador*. Alguns exemplos de trocadores de transferência direta são trocadores de: placa, tubular, e de superfície estendida. Recuperadores constituem uma vasta maioria de todos os trocadores de calor.

Figure 3-3. Trocador de transferência direta



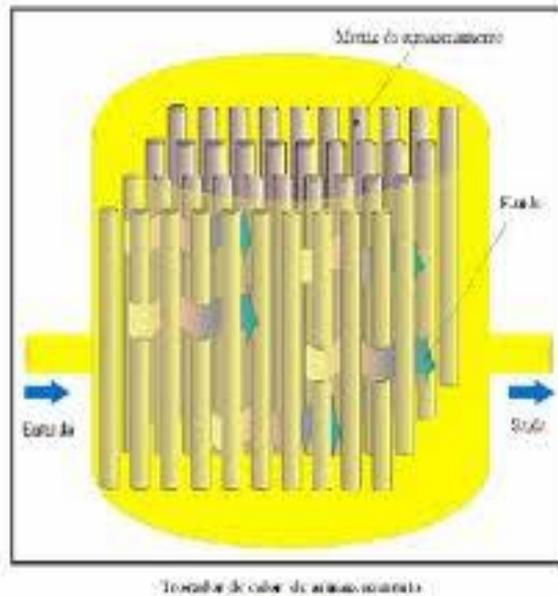
Fonte:www.ebah.com.br

### 3.2.3. Trocadores De Armazenamento

Em um trocador de armazenamento, ambos os fluídos percorrem alternativamente as mesmas passagens de troca de calor. A superfície de transferência de calor geralmente é de uma estrutura chamada *matriz*. Em caso de

aquecimento, o fluido quente atravessa a superfície de transferência de calor e a energia térmica é armazenada na matriz. Posteriormente, quando o fluido frio passa pelas mesmas passagens, a matriz “libera” a energia térmica (em refrigeração o caso é inverso). Este trocador também é chamado Regenerador.

Figure 3-4. Trocador de calor regenerador

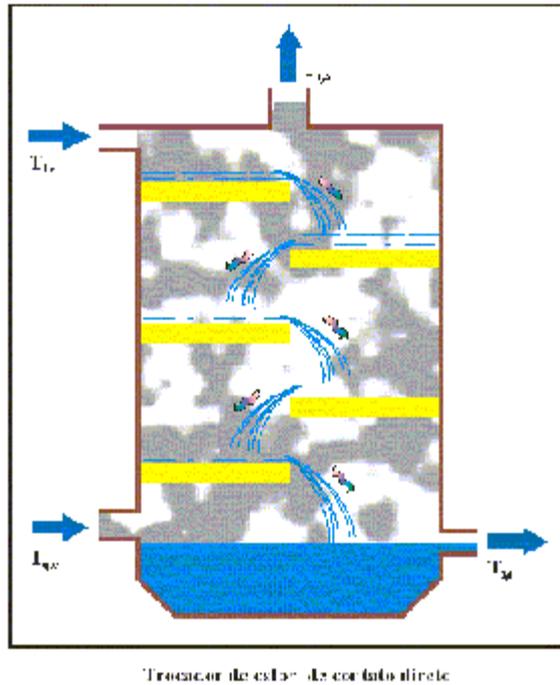


FONTE: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br)

### 3.2.4. Trocadores de Calor de Contato Direto

Neste trocador, os dois fluidos se misturam. Aplicações comuns de um trocador de contato direto envolvem transferência de massa além de transferência de calor; aplicações que envolvem só transferência de calor são raras. Comparado o recuperador de contato indireto e os Regeneradores, são alcançadas taxas de transferência de calor muito altas. Sua construção é relativamente barata. As aplicações são limitadas aos casos onde um contato direto de dois fluxos fluidos é permissível.

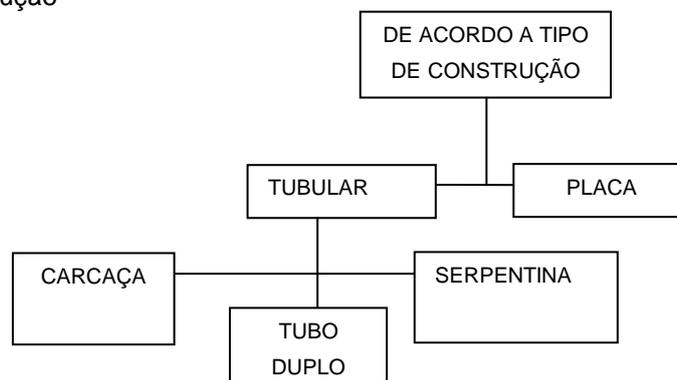
Figure 3-5. Trocador de calor contato direto



FONTE: <http://wwwusers.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/Trocadores/figuras/troc7.gif>

### 3.3. CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO A CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUÇÃO

Figure 3-6. Tipo de Construção



Fonte: Pessoais

Existe o trocador tubular, de placas, de superfície estendida e regenerativos. Outros trocadores existem, mas os grupos principais são estes.

### 3.3.1. Trocadores Tubulares

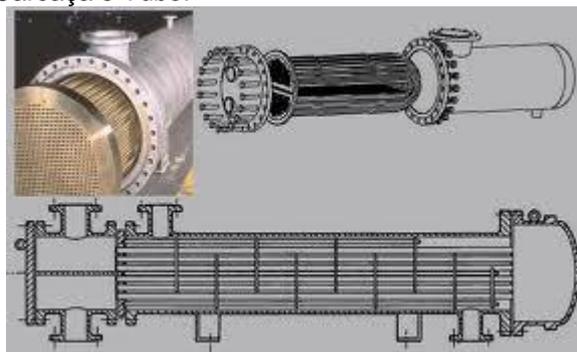
São geralmente construídos com tubos circulares, existindo uma variação de acordo com o fabricante. São usados para aplicações de transferência de calor líquido (uma ou duas fases). Eles trabalham de maneira ótima em aplicações de transferência de calor. Gás; gás, principalmente quando pressões e/ou temperaturas operacionais são muito altas onde nenhum outro tipo de trocador pode operar. Estes trocadores podem ser classificados como carcaça e tubo, tubo duplo e de espiral.

#### 3.3.1.1. Trocadores de Carcaça e Tubo

Este trocador é construído com tubos e uma carcaça. Um dos fluidos passa por dentro dos tubos, e o outro pelo espaço entre a carcaça e os tubos. Existe uma variedade de construções diferentes destes trocadores dependendo da transferência de calor desejada, do desempenho, da queda e pressão e dos métodos usados para reduzir tensões térmicas, prevenir vazamentos, facilidade de limpeza, para conter pressões operacionais e temperaturas altas, controlar corrosão, etc. Trocadores de carcaça e tubo são os mais usados para quaisquer capacidades e condições operacionais, tais como pressões e temperaturas altas, atmosferas altamente corrosivas, fluidos muito viscosos, misturas de multicomponentes, etc. Estes são trocadores muito versáteis, feitos de uma variedade de materiais e tamanhos e são extensivamente usados em processos industriais.

Figura 3.7

Figure 3-7. Trocador de Calor Carcaça e Tubo.



### 3.3.1.2. Trocador Tubo Duplo

O trocador de tubo duplo consiste de dois tubos concêntricos. Um dos fluidos escoam pelo tubo interno e o outro pela parte anular entre tubos, em uma direção de contrafluxo. Este é talvez o mais simples de todos os tipos de trocador de calor pela fácil manutenção envolvida. É geralmente usado em aplicações de pequenas capacidades.

Figure 3-8. Trocador de Calor Tubo Duplo



Fonte: [www.peerlessmfg.com](http://www.peerlessmfg.com)

### 3.3.1.3. Trocador de Calor de Serpentina

Este tipo de trocador consiste em uma ou mais serpentinas (de tubos circulares) ordenados em uma carcaça. A transferência de calor associada a um tubo espiral é mais alta que para um tubo duplo. Além disto, uma grande superfície pode ser acomodada em um determinado espaço utilizando as serpentinas. As expansões térmicas não são nenhum problema, mas a limpeza é muito problemática.

Figure 3-9. Trocador de Calor de Serpentina

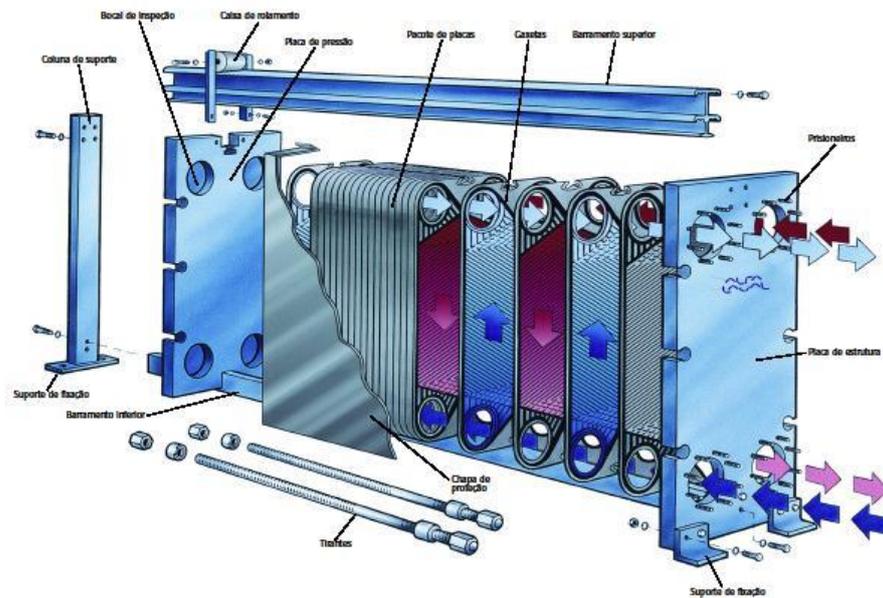


Fonte: [www.peerlessmfg.com](http://www.peerlessmfg.com)

### 3.3.2. Trocadores de Calor Tipo Placa

Este tipo de trocador normalmente é construído em placas planas lisas ou com alguma forma de ondulações. Geralmente, este trocador não pode suportar pressões muito altas, comparadas ao trocador tubular equivalente.

Figure 3-10. Trocador de calor tipo placas



Fonte: [www.alfalaval.com](http://www.alfalaval.com)

#### 4. COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA DE CALOR

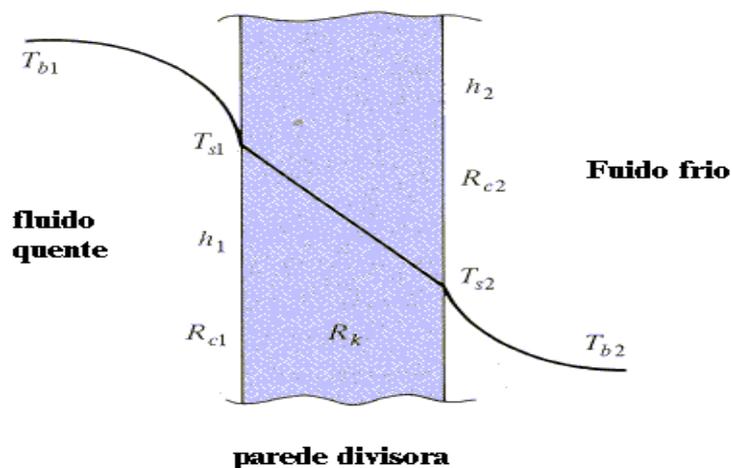
Apresentamos o conceito de Coeficiente Global de Troca de Calor,  $U$ , como uma maneira de sistematizar as diferentes resistências térmicas equivalentes existentes num processo de troca de calor entre duas correntes de fluidos, por exemplo. A partir da lei do resfriamento de Newton:

Equação 4-1. Efeito Global da Convecção

$$q = h \cdot A \cdot (T_p - T_\infty)$$

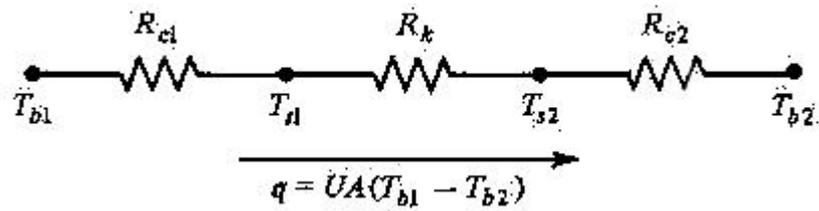
Que envolve a temperatura da superfície exposta a uma das correntes de fluido, estendemos o raciocínio para envolver outras partes do sistema. Em diversos momentos, a troca de calor entre fluidos e superfícies divisoras do escoamento. Com as hipóteses de regime permanente, ausência de fontes, utiliza-se o conceito das resistências térmicas equivalentes e eventualmente apresentamos o Coeficiente Global de Troca de Calor,  $U$ . Veja a figura abaixo representando a situação tratada:

Figure 4-1. circuito térmico equivalente



Dando origem ao circuito térmico equivalente:

Figure 4-2 Resistência.



Ou seja, nestas condições, o calor trocado foi escrito como:

Equação 4-2. Calor Trocado.

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T = U \cdot A \cdot (T_{b1} - T_{b2})$$

Onde  $T_b$  indica a temperatura média de mistura de cada um dos fluidos. Neste ponto, consideramos que  $T_b$  de cada fluido permanecia constante, o que é equivalente a considerarmos fluidos com capacidade térmica (o produto da massa ou do fluxo de massa pelo calor específico) infinita. Na realidade, esta é uma aproximação muito forte. A troca de calor por convecção no interior de dutos e canais, a relaxar a hipótese de temperatura média de mistura constante ao longo do escoamento. Consideramos duas situações para a condição térmica: fluxo de calor constante ou temperatura superficial constante. Após a devida análise, com a temperatura média de mistura do fluido varia ao longo do comprimento da superfície:

- Fluxo constante de calor na parede
- Temperatura superficial constante

Porém, a situação em um trocador de calor é um pouco mais complicada pois não temos mais informações sobre o fluxo de calor na parede ou sobre a temperatura superficial (na verdade, só podemos garantir é que não serão mais constantes). Felizmente, a maioria dos conceitos já discutidos se aplicam aqui, permitindo uma análise simples.

Uma primeira consideração deve ser feita sobre as possíveis variações de temperatura de cada fluido ao longo do trocador, em função da direção com que as correntes seguem. As direções relativas do escoamento são especificadas abaixo e mostradas na figura adiante:

-Correntes opostas: quando as correntes escoam em direção opostas – situação (a).

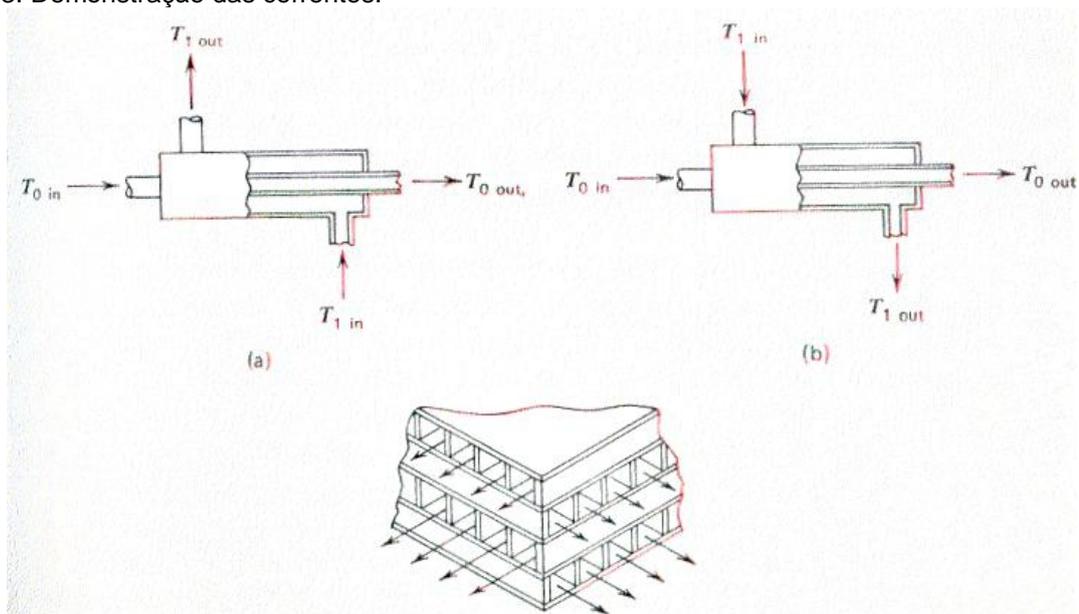
-Correntes paralelas: quando elas seguem na mesma direção – situação (b).

-Correntes cruzadas: quando as correntes seguem em ângulos de 90 – situação. Neste caso, podemos ter uma, as duas ou nenhuma das correntes misturadas (caso mostrado). Na prática, uma ou mesmo as duas correntes permanecem não - misturadas.

O projeto de trocadores de calor usualmente começa com a determinação da área de troca de calor necessária para acomodar uma determinada condição térmica de uma ou das duas correntes, que entram no trocador a determinadas temperaturas e vazões e precisam sair em determinadas temperaturas e vazões e precisam sair em determinadas temperaturas, por exemplo, especificadas em algum ponto da linha de produção.

#### Arranjos Básicos de Trocadores:

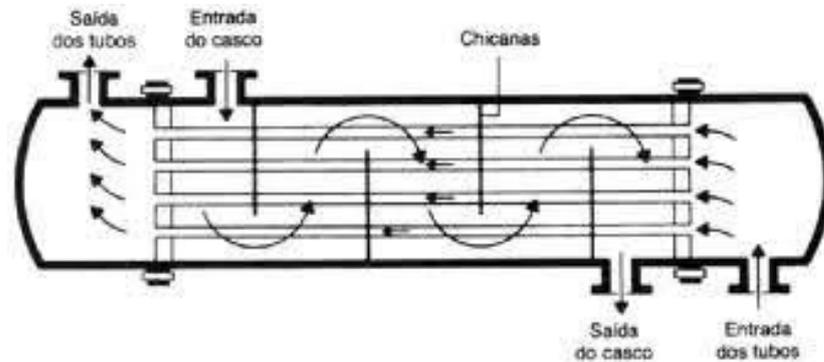
Figure 4-3. Demonstração das correntes.



Fonte: Livro do Frank kreith. cap 11.pág.447.

Um tipo muito comum de trocador de calor é o conhecido como Carcaça e Tubos, como mostrado na próxima figura:

Figure 4-4. Trocador de Calor tipo Tubo - Carcaça.



Fonte: Livro do Frank kreith .cap 11.pág.450.

Nesta situação, um volume externo, da carcaça, que abriga inúmeros tubos que podem fazer vários passes. Na situação mostrada, temos que o fluido que escoar pelos tubos passa por dois passes enquanto que o fluido na carcaça segue um único passe. Observando a presença dos defletores internos, que tornam o escoamento do fluido na carcaça mais envolvente com os tubos. O que você acha poderia acontecer sem estes defletores.

A análise da condição de troca de calor com diversos passes é bastante complexo, portanto, será mais detalhado para a situação na qual os fluidos passam uma única vez pelo trocador.

## 5. FATOR DE INCRUSTAÇÃO

Muito esforço se fez a fim de compreender a incrustação. Durante a operação, os trocadores ficam incrustados com depósitos de um tipo ou de outro nas superfícies de transferência de calor. Por isso, a resistência térmica ao fluxo de calor cresce, o que reduz a taxa de transferência de calor. O dano econômico das incrustações pode ser atribuído:

- 1-.Ao dispêndio mais alto de capital em virtude de unidades superdimensionadas.
- 2-. Às perdas de energia devidas à falta de eficiência térmica.
- 3-. Aos custos associados à limpeza periódica dos trocadores de calor.
- 4-. À perda de produção durante o desmonte para limpeza.

### 5.1. MODOS DE INCRUSTAÇÃO.

1-. Incrustação por precipitação, a cristalização da substância dissolvida na solução sobre a superfície de transferência de calor.

2-.Incrustação por sedimentação, o acúmulo de sólidos finamente divididos, suspensos no fluido do processo, sobre a superfície de transferência de calor.

3 -. Incrustação por reação química, a formação de depósitos sobre a superfície de transferência de calor, por reação química.

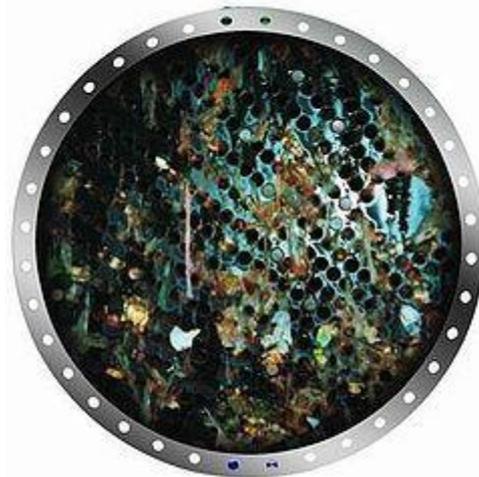
4 -. Incrustação por corrosão, o acúmulo de produtos de corrosão sobre a superfície de transferência de calor.

5-. Incrustação biológica, o depósito de microorganismos na superfície de transferência de calor.

6 -. Incrustação por solidificação, a cristalização de um líquido puro, ou de um componente da fase líquida, sobre a superfície de transferência de calor sub-resfriada. Evidentemente, o mecanismo de incrustação é muito complicado, e não dispomos ainda de técnicas confiáveis para sua previsão. Quando um trocador de calor novo é posto em serviço, seu rendimento se deteriora progressivamente em

virtude do desenvolvimento da resistência das incrustações. A velocidade e a temperatura das correntes parecem estar entre os fatores que afetam a taxa de incrustação sobre uma dada superfície. O aumento da velocidade diminui a taxa de depósito e também a quantidade final do depósito sobre a superfície. Aumentando a temperatura do fluido como um todo, aumenta a taxa de crescimento das incrustações e o seu nível estável terminal.

Figure 5-1. Incrustação



FONTE :F/C ALIANÇA URCA.

## 5.2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Equação 5-1. Coeficiente Global

$$Y_p = \frac{1}{\frac{1}{\bar{h} \cdot c} + R_e + R_K + \frac{R_i \cdot A_e}{A_i} + \frac{A_e}{\bar{h} \cdot i \cdot A_i}}$$

Onde:

$Y_p$  – Coeficiente Global de TRC de projeto, baseado numa área unitária de superfície externa dos tubos.

$h_e$ - Coeficiente médio de TRC do fluido no exterior dos Tubos.

$h_i$ - Coeficiente médio de TRC do fluido no interior dos Tubos.

Re- Resistência de Incrustação por unidade de área no exterior dos Tubos.

Ri- Resistência de Incrustação por unidade de área no interior dos Tubos.

Rg- Resistência dos Tubos.

Para uma análise preliminar, é comum calcular  $Y_{projeto}$  qualquer:

Equação 5-2 cálculo da resistência.

$$\frac{1}{Y_{projeto}} = \frac{1}{Y_{limpo}} + R_c$$

Sendo  $R_c$  a resistência de Incrustação. Alguns valores representativos são mostrados na tabela abaixo.

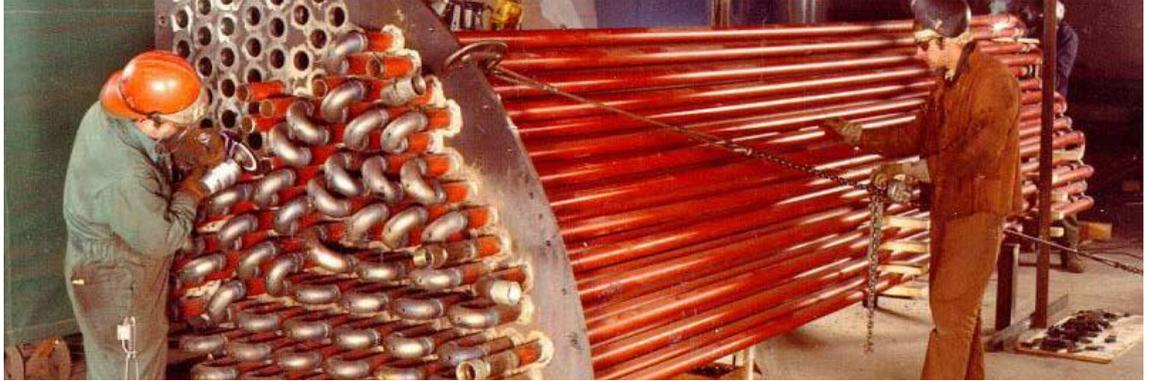
Tabela 5-1. Resistências de Incrustação.

<b>Tipo de fluido</b>	<b>(hpé° F/Btu)</b>	<b>(m<sup>2</sup> °C/W)</b>
<b>Água do mar</b>		
<b>Abaixo de 50 °C</b>	<b>5x10<sup>-3</sup></b>	<b>9x10<sup>-3</sup></b>
<b>Acima de 50 °C</b>	<b>1x10<sup>-2</sup></b>	<b>2x10<sup>-3</sup></b>
<b>Água de Caldeira tratada, acima</b>		
<b>De 50 °C</b>	<b>1x10<sup>-3</sup></b>	<b>2x10<sup>-4</sup></b>
<b>Óleo combustível</b>	<b>5x10<sup>-2</sup></b>	<b>9x10<sup>-3</sup></b>
<b>Óleo de Têmpera</b>	<b>4x10<sup>-2</sup></b>	<b>7x10<sup>-3</sup></b>
<b>Vapores de Álcool</b>	<b>5x10<sup>-3</sup></b>	<b>9x10<sup>-3</sup></b>
<b>Vapor d'água sem</b>	<b>5x10<sup>-3</sup></b>	<b>9x10<sup>-4</sup></b>
<b>Óleo</b>		
<b>Líquido de Refrigeração</b>	<b>1x10<sup>-2</sup></b>	<b>2x10<sup>-3</sup></b>
<b>Ar de uso industrial</b>	<b>1x10<sup>-2</sup></b>	<b>4x10<sup>-4</sup></b>

Fonte: Livro do Frank kreith. Cap 11. Pág. 450.

## 6. TROCADORES CASCO E TUBOS

Figure 6-1 Limpeza do trocador de calor.



*FONTE:MECANICAINDUSTRIAL.COM.BR*

### 6.1. CASCO - TUBO

Quando a área da troca térmica é grande, o tipo de trocador recomendado é o de carcaça e tubo. Neste tipo de resfriador é possível conseguir elevadas áreas de troca térmica, de maneira econômica e prática, montando-se os tubos em feixes; as extremidades dos tubos são fixadas num espelho. O feixe de tubos é colocado numa envoltória cilíndrica (a carcaça) por onde circula o segundo fluido, em volta do feixe e por entre os tubos.

O escoamento paralelo em todos os tubos e a baixa velocidade contribuem para coeficientes de transferência de calor baixos e para pequena queda de pressão. As chicanas são instaladas para aumentar o coeficiente de convecção do fluido no lado do casco.

Os Trocadores de carcaça e tubo este trocador é construído com tubos e uma carcaça. Um dos fluidos passa por dentro dos tubos, e o outro pelo espaço destes trocadores dependendo da transferência de calor desejada, do desempenho, da queda de pressão e dos métodos usados para reduzir tensões térmicas, prevenir vazamentos, facilidade de limpeza, para conter pressões operacionais e temperaturas altas, controlar corrosão, etc. Trocadores de carcaça e tubo são os

mais usados para quaisquer capacidades e condições operacionais, tais como pressões e temperaturas altas, atmosferas altamente corrosivas, fluidos muito viscosos, misturas de multicomponentes, etc. Estes são trocadores muito versáteis, feitos de uma variedade de materiais e tamanhos e são extensivamente usados em processos industriais

Trocador casco e tubos consistem em um feixe de tubos contidos em um casco normalmente cilíndrico. Eles diferem de acordo com os números de passes no casco e nos tubos. Sua forma mais simples envolve um único passe nos tubos e no casco.

A transmissão de calor se processa através da adequada separação dos fluidos envolvidos, sendo que um deles flui através do lado interno dos tubos e o outro através do lado externo destes, comumente chamado de lado do casco.

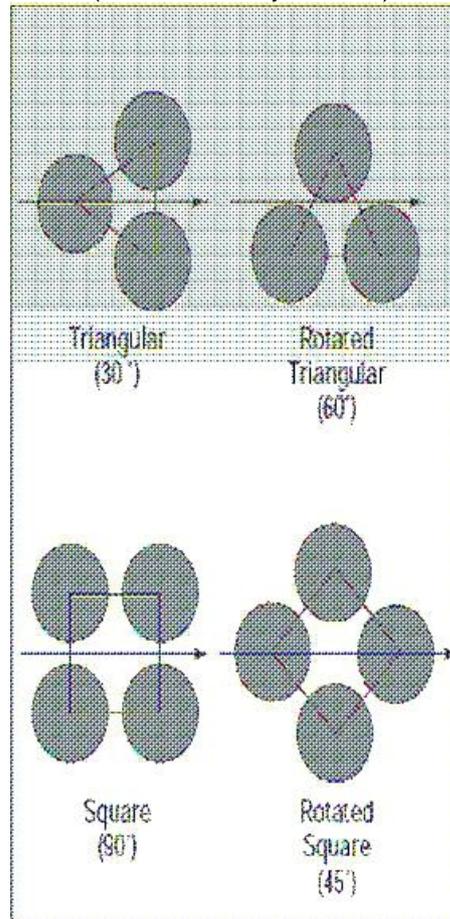
Os principais componentes de um trocador de calor casco e tubos são casco, feixe de tubos, cabeçote de entrada e cabeçote de retorno.

O feixe tubular é composto de uma série de tubos fixados por suas pontas em espelhos.

A fixação dos mesmos aos furos dos espelhos pode ser através de mandrilagem (expansão), solda ou combinação de ambos. Os tubos são posicionados de acordo com os feixes. Os mais comuns são quadrangular (90°), quadrangular rotado (45°), triangular (30°) e o triangular rotado (45°). O formato quadrangular e quadrangular rotado permite uma limpeza mecânica do lado externo dos tubos.

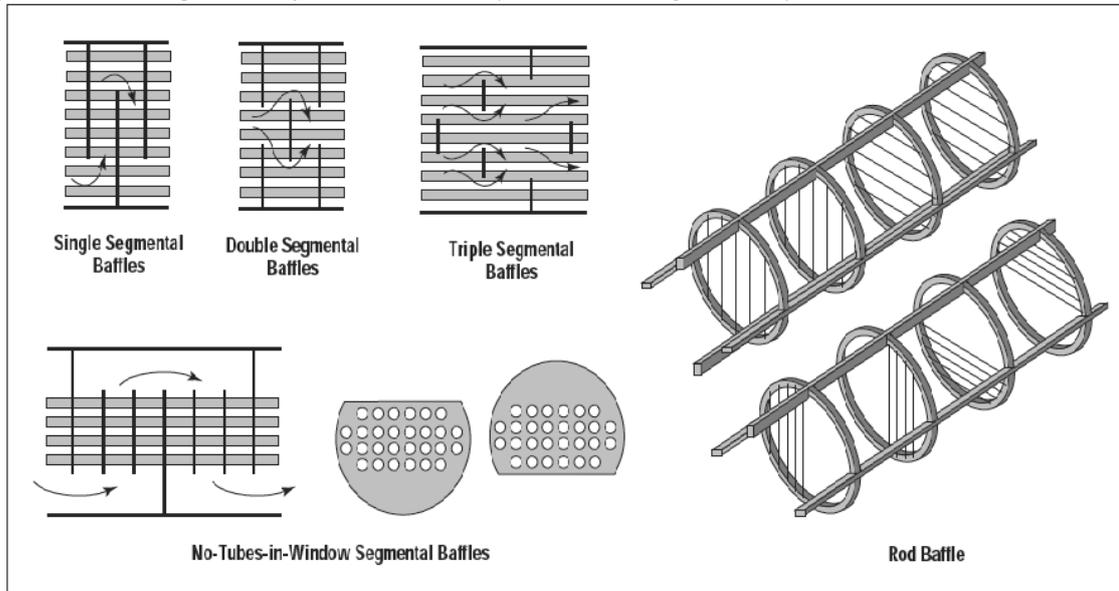
A distância centro a centro dos tubos é chamada de pitch. Já a menor distância entre dois tubos adjacentes é a abertura (clearance).

Figure 6-2. Posições dos feixes tubulares (Fonte: Mukherjee, 1998).



Geralmente, são instaladas chicanas para aumentar o coeficiente convectivo no fluido no lado do casco, pois induzem turbulência no lado do casco, e fazem com que o fluido esco3de forma perpendicular ao feixe de tubos com isso tem-se um aumento da taxa de transferência de calor. Além disso, as chicanas apóiam fisicamente os tubos, reduzindo a vibração dos tubos induzida pelo escoamento. A abertura de uma chicana é a proporção entre o espaço aberto e o diâmetro interno do casco. Portanto, 25% de abertura de uma chicana significa que o segmento aberto é um quarto do diâmetro interno do casco.

Figure 6-3. Ilustração dos tipos de chicanas (Fonte: Mukherjee, 1998).



■ Figure 7. Types of baffles.

As chicanas são montadas entre os espelhos posicionadas através de espaçadores e tirantes de modo a permitir que o fluxo do fluido seja conduzido adequadamente através deste.

O casco é composto de um cilindro, sendo que em suas extremidades poderão estar soldadas aos flanges ou aos próprios espelhos, dependendo do tipo de construção.

Os cabeçotes destinam-se a receber e distribuir o fluido pelos tubos. Em casco de trocador de calor com número par de passes do lado dos tubos, um dos cabeçotes opera como cabeçotes de retorno.

## 7. ISOLAMENTO TÉRMICO

### 7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE ISOLANTE TÉRMICO

Isolantes térmicos são materiais utilizados em revestimentos, para reduzir a transmissão de calor entre sistemas. Aparentemente, qualquer material poderia ser usado, uma vez que representa uma resistência técnica a mais, através do revestimento. Tal fato não acontece. Para cada caso poderemos ter restrições específicas com relação ao valor do coeficiente de condução, conforme podemos constatar nos exemplos que seguem.

### 7.2. CONCEITUAÇÃO, FINALIDADE E MATERIAIS ISOLANTES.

A conceituação de isolamento térmica, de acordo com as definições aceita, está fundamentalmente apoiada na aplicabilidade e economicidade dos materiais envolvidos. O isolamento térmico é composto por três elementos distintos:

- O isolante térmico.
- O sistema de fixação e sustentação mecânica.
- A proteção exterior.
- A seguir as definições e terminologias essenciais, que são as seguintes:

**Isolação térmica** – Situação em que se encontra um sistema físico que foi submetido ao processo de isolamento térmico.

**Isolamento térmico** - Processo através do qual se obtém a isolação térmica de um sistema físico pela aplicação adequada de material isolante térmico.

**Material isolante** – Material capaz de diminuir de modo satisfatório e conveniente à transmissão do calor entre dois sistemas físicos.

**Material de fixação** – Material (ou materiais) usado para manter o isolante e o revestimento em suas posições convenientes.

**Material de revestimento** – Material ( ou materiais) usado para proteger e dar bom aspecto ao isolante.

Faz-se necessário, pois, que estes componentes sejam aplicáveis entre si e com o sistema a isolar, para que sejam eficientes e econômicos.

A finalidade precípua de isolação térmica é dificultar, reduzir e minimizar a transferência de calor entre dois sistemas físicos que se encontram em níveis diferentes de temperatura.

Porém, para efeito de classificação normativa, de projeto e comercial, considerar-se-á isolação térmica aplicável objetivando principalmente as seguintes finalidades:

- 1) Economia de energia.
- 2) Estabilidade operacional.
- 3) Conforto térmico.
- 4) Proteção do pessoal.
- 5) Evitar condensação.
- 6) Proteção de estruturas.

Pode-se, num só processo de isolamento térmico, atingir mais de um desses objetivos, porém em consideração que a análise da fonte do calor e da sua forma de transmissão é que determina a escolha dos materiais e a técnica de sua aplicação.

A técnica de isolação térmica consiste na utilização de materiais ou de sistemas que imponham resistência maneiras do calor se propagar reduzindo essa velocidade de transmissão e portanto a quantidade transmitida por unidade de tempo.

A escolha do material isolante ou do meio isolante, admitindo os demais componentes como de importância secundária, deverá ser coerente com a transmissão de calor.

São muitos os materiais isolantes que podem ser utilizados com êxito no isolamento térmico não sendo considerada básica esta circunstância para a seleção do mesmo.

Devem ser conhecidas todas as propriedades mecânicas e térmicas do material, para projeto. De forma adequada o sistema de montagem, a espessura de isolamento necessária, a película hidrófuga com a qual deve ser protegido, etc.

Entre outros podem ser citados como elementos de boa qualidade e comercialmente usado no mundo todo:

- 1) Fibra cerâmica.
- 2) Carbonato de magnésio.
- 3) Cimentos isolantes.
- 4) Concreto celular.
- 5) Cortiça expandida.
- 6) Espuma de borracha.
- 7) Espuma de vidro c).
- 8) Espumas de poliuretano.
- 9) Fibras de madeira prensada.
- 10) Lã de escória.
- 11) Lã de rocha.
- 12) Lã de vidro.
- 13) Lãs isolantes refratárias.
- 14) Massas isolantes.
- 15) Perlita expandida.
- 16) PVC expandido.
- 17) Sílica diatomácea.
- 18) Sílica expandida.
- 19) Silicato de cálcio.

## 20) Vermiculita expandida

Na realidade, o produto isolante ideal não existe. Analisando as características básicas de cada um, e promovendo um estudo comparativo entre todos eles, é justo reconhecer que a decisão sempre estará motivada pelo gosto particular do usuário.

As principais perguntas normalmente formuladas pelos próprios projetistas e engenheiros ligados à indústria são: qual o isolante a ser utilizado, que espessura deve ser usada e quais as precauções necessárias quando da montagem do material selecionado.

Esta resposta não pode ser dada de forma genérica, sendo indispensável o estudo, em particular, de cada tipo de instalação a ser executada.

### **7.3. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS ISOLANTES TÉRMICOS**

O projeto correto de sistemas de aquecimento, ar condicionado e refrigeração, como de outras aplicadas industriais, necessitam de um conhecimento amplo sobre isolamento térmico e do comportamento térmico das estruturas em questão. Este item tratará dos fundamentos e propriedades dos materiais de isolamento térmica.

As propriedades ideais que um material deve possuir para ser considerado um bom isolante térmico são as seguintes:

- 1) Baixo coeficiente de condutividade térmica ( $K$  até  $0,030 \text{ Kcal/m}^2\text{C h}$ ).
- 2) Boa resistência mecânica.
- 3) Baixa massa específica.
- 4) Incombustibilidade ou auto-extinguibilidade.
- 5) Estabilidade química e física.
- 6) Inércia química.
- 7) Resistência específica ao ambiente da utilização.
- 8) Facilidade de aplicação.
- 9) Resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos.

10) Ausência de odor.

11) Economicidade.

É óbvio que não se consegue um material que possua todas estas qualidades, procura-se sempre um que satisfaça ao máximo a cada uma delas. Nisto reside à escolha de um bom isolante térmico.

### **7.3.1. Propriedades térmicas**

A capacidade de um material para retardar o fluxo de calor está expressa por sua condutividade térmica ou valor de condutância. Uma baixa condutividade térmica ou valor de condutância (ou alta resistividade térmica ou valor de resistência) por conseguinte, caracteriza um isolante térmico, exceção feita aos isolantes refletivos.

Os isolantes refletivos, como o alumínio, dependem da subdivisão correspondente dos espaços de ar e da baixa emissividade térmica das superfícies para uma baixa condutância térmica.

Para ser realmente efetiva em retardar o fluxo de calor por radiação, a superfície refletiva deverá apresentar sua face ao ar ou espaço vazio.

Outras propriedades térmicas que podem ser importantes: calor específico, difusividade térmica, coeficiente de dilatação térmica e resistência à temperatura. A difusividade térmica torna-se importante naquelas aplicações onde a temperatura varia com o tempo, devido a que a taxa de variação de temperatura no interior de uma isolação é inversamente proporcional à difusividade térmica para uma dada espessura.

### **7.3.2. Fatores que afetam a condutividade térmica**

A condutividade térmica é uma propriedade dos materiais homogêneos e materiais de construção tais como madeira, tijolo e pedra.

A maior parte dos materiais isolantes, exceção feita aos refletivos, são de natureza porosa consistindo de combinações de matéria sólida com pequenos vazios.

A condutividade térmica do isolante varia com a forma e estrutura física da isolação, como ambiente e as condições de aplicação.

A forma e estrutura física variam com o material de base e com os processos de fabricação. As variações incluem: densidade, medida do espaço celular, diâmetro e disposição das fibras ou partículas, transparência à radiação térmica, quantidade e extensão dos materiais de ligação, e do tipo e pressão do gás no interior da isolação.

Os valores de condutividade térmica para isolantes são geralmente fornecidos para amostras de uma determinada densidade obtida em forno seco, método ASTM-C-177, a uma temperatura média especificada.

### **7.3.3. Propriedades mecânicas**

Alguns isolantes térmicos possuem suficiente resistência estrutural para serem usados como materiais de apoio de cargas.

Eles podem, em determinadas ocasiões, ser usados em pisos projetados para suportes de carga.

Para estas aplicações, uma ou mais das várias propriedades mecânicas de um isolante térmico incluindo resistência à compressão, cisalhamento, tensão, tração, impacto e flexão, podem ser realmente importantes.

As propriedades mecânicas de um isolamento variam com a composição básica, densidade, diâmetro da fibra e orientação, tipo e quantidade de material fibroso que aumenta o poder de coesão (se existir), e com a temperatura à qual é realizada a avaliação.

#### **7.3.4. Propriedades relativas à umidade**

A presença de água ou gelo no isolamento térmico pode diminuir ou destruir o valor isolante, pode causar deterioração da isolação, como danos estruturais por putrefação ou decomposição, corrosão, ou pela ação expansiva da água congelada.

A umidade acumulada no interior de um isolamento térmico depende das temperaturas de operação e condições ambientais, e da efetividade das barreiras de vapor de água em relação a outras resistências de vapor no interior da estrutura composta. Alguns isolantes são higroscópicos e absorverão ou perderão umidade proporcionalmente à umidade relativa do ar em contato com isolante.

Isolantes fibrosos ou granulados permitem a transmissão de vapor de água para o lado frio da estrutura. Uma barreira de vapor efetiva, portanto, deverá ser usada quando da utilização deste tipo de materiais, onde a transmissão de umidade é um fator a ser considerado. Determinados isolantes térmicos possuem uma estrutura celular fechada, sendo relativamente impermeável à água e vapor de água.

As várias propriedades que expressam a influência da umidade incluem: absorção (capilaridade); absorção e taxa de transmissão de vapor de água.

#### **7.3.5. Saúde e segurança**

As várias propriedades dos isolantes térmicos relativos à saúde e segurança incluem: incapacidade para suportar vermes e insetos; imunidade aos perigos de incêndio; imune às pessoas quanto a partículas que possam causar irritações da pele; imune quanto a vapores ou pó que possam afetar as pessoas; imunidade quanto à putrefação, odores e envelhecimento.

## 8. CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho observa-se que a aplicabilidade dos conhecimentos ministrados na disciplina termodinâmica, onde aprofundamos nosso estudo na parte referente o trocadores de calor.

Nesta pesquisa observei também a importância do dimensionamento completo do trocador de valor Shell and Tube tipo 1-2 escolhido como exemplo para nosso trabalho. O trocador é bastante utilizado em navios, onde verifiquei a perda de pressão, os coeficientes de transmissão de calor, e os fatores de incrustação, as quais afetam sobre maneira a vida útil do trocador de calor.

Como vimos existem vários modelos de trocadores de calor, mas o trocador casco e tubos é o mais utilizado nos sistemas de ar condicionado e frigoríficas, pois ele é muito versátil, pois pode ser aplicado em uma ampla faixa de capacidades e condições operacionais e geralmente são vantajosos também no sentido econômico.

Finalizando, concluo que o estudo do trocador de calor é de suma importância para a profissão do oficial de máquinas, pois os referidos fatores citados anteriormente influenciam consideravelmente o rendimento térmico global do navio.

## 9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARAÚJO, Celso. Transmissão de Calor.- Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. 1978. HOLMAN, J.P. Transferência de Calor Mc-Graw-Hill do Brasil. 1983.

INCROPERA, F.P e Witt, D.P – “Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa” Editora Guanabara Koogan S/A. 1992.

OZISIK, M. Necati – Transferência de Calor. Um Texto Básico. Editora Guanabara. 1990.

THOMAS, Lindon C. – Fundamentos da Transferência de Calor. Editora Prentice-Hall do Brasil LTDA. 1985

KREITH, Frank. Princípios da Transmissão de Calor. Editora Edgard Blucher LTDA. 1977

OZISIK, M. Necati: Transferência de Calor – Um Texto Básico. Ed. Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro, Brasil, 1990.

PITTS, Donald R. and Sissom, Leighton E. – “1000 Solved Problems in Heat Transfer”. Mc Graw Hill, Inc. 1991.

SEVERINO, Antonio Joaquim: Metodologia do Trabalho Científico. Cortez Editora, São Paulo, 2004. 22ª Edição.

SOUMERAL, Henri: Practical Thermodynamic Tools For Heat Exchanger Design Engineers. Wiley-interscience, Massachusetts, 1987.

ARAÚJO, Everaldo César da Costa. Trocadores de Calor. São Carlos: EdUF SCAR, 2002. 102P. (Apontamentos).

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E.. Fundamentos da Termo-dinâmica. 7ª ed. São Paulo: Blucher, 2009. 659p.

ESSEL ELETROMECAÂNICA. Trocadores de Calor. SD. 243p. Disponível em: <[http://www.essel.com.br/cursos/03\\_trocadores.htm](http://www.essel.com.br/cursos/03_trocadores.htm)>. Acesso em: 20 Mar. 2011.

MÜLLER, José Miguel. Trocadores de Calor. Florianópolis: UFSC, 2008. 9pg. Disponível em: <[http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a.htm](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a.htm)>. Acesso em: Abr. 2011.

REIS, Carlos V., Curso de formação de Operadores de Refinaria: Equipamentos Estáticos. Curitiba. Centro Universitário da Positivo, 2002. 105f. Apostila. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/equipamentos-estaticos-petrobras-pdf-a81287.html>>. Acesso em: fev. 2011.

SANT'ANNA, Andréia Abrahão. Simulação de processamento de gás natural em plataforma offshore. 2005. 126f. Monografia (Especialização em Petróleo e Gás Natural) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:<[www.anp.gov.br/.../Andreia-Abrahao\\_SantAnna\\_PRH13\\_UFRJ-EQ\\_G0.pdf](http://www.anp.gov.br/.../Andreia-Abrahao_SantAnna_PRH13_UFRJ-EQ_G0.pdf)>. Acesso em: mar. 2011.

TONIN, Paulo Cesar. Metodologia para monitoramento do desempenho térmico de redes de trocadores de calor. 2003. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – CEFET-PR, Curitiba, 2003. Disponível em:<http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/TONIN,%20Paulo%20Cesar.pdf>. Acesso em: mar. 2011.