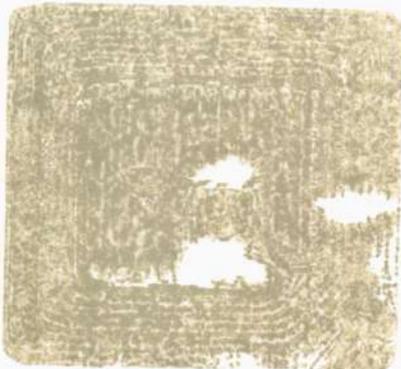


**FACULDADE REDENTOR**  
**CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA**

**RODOLFO DEROSI GONÇALVES**

**REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO VAPOR RESIDUAL DAS  
MÁQUINAS DE PAPEL MP3 E MP4**



Itaperuna  
2010

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

RODOLFO DEROSI GONÇALVES

**REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO VAPOR RESIDUAL DAS  
MÁQUINAS DE PAPEL MP3 E MP4**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação  
em Engenharia Mecânica da Faculdade  
Redentor como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.

**Orientador: Prof. Glênio Fernando Daniel**

Itaperuna

2010

Sociedade Universitaria Redentor

**BIBLIOTECA**

Reg. 8424 03

Data: 17 / 02 / 11

Nº de Chamado: \_\_\_\_\_

Gonçalves, Rodolfo Derossi

Reaproveitamento energético do vapor residual das máquinas de papel mp3 e mp4 / Rodolfo Derossi Gonçalves. – Itaperuna : Faculdade Redentor, 2010.

68p. : il.

Orientador (a): Glênio Fernando Daniel

Monografia apresentada à Faculdade Redentor como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica – Faculdade Redentor, 2010.

Referências: p. 62 - 63

1. Engenharia Mecânica – Monografia 2. Papel – Indústria  
3. Condensador de Vapor 4. Vapor – Reaproveitamento I. Título

621 G635r

Autor: RODOLFO DEROSI GONÇALVES

Título: **REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO VAPOR RESIDUAL DAS MÁQUINAS DE PAPEL MP3 E MP4**

Natureza: Projeto Final

Objetivo: Título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Instituição: Faculdade Redentor

Área de Concentração: Engenharia Mecânica com ênfase em Sistemas de Vapor

Aprovada em: 14/12/2010

Banca Examinadora



---

Glênio Fernando Daniel (Orientador)

Engenheiro Mecânico

Escola Naval/UFRJ

---

Evaldo Moreira de Azevedo

Mestre em Ciência dos Materiais

Universidade Estadual Norte Fluminense

---

Sergio Souza Dias

Bacharel em Engenharia Mecânica

Universidade Federal Fluminense

Dedico este trabalho a Deus, aquele que zela por mim e me dá forças o tempo todo; a meus pais responsáveis por tudo que sou hoje e meus avós, Eurídice e José *in memoriam*, pois sem eles seria impossível alcançar meus sonhos; minha namorada Carol, que me apoiou e aos meus amigos que sempre me ajudaram e aconselharam.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor e orientador, Glênio, pelo apoio e paciência e dedicação a este trabalho; ao Ex-gerente Industrial, Vicente Albiach pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e ao projetista Anderson R. Figueira pelos ensinamentos e apoio prestado, à Sociedade Universitária Redentor e todos os professores que muito me apoiaram e me fizeram o que sou hoje, aos amigos que aqui fiz e me ajudaram neste trabalho me apoiando e aqueles que nos momentos difíceis me escutaram e aconselharam, que nunca esquecerei.

## RESUMO

O presente projeto tem por objetivo o reaproveitamento do vapor das linhas de descarga dos sistemas de vapor das máquinas de papel MP3 e MP4, estudo de caso na INPA – Indústria de Embalagens Santana S/A. No estudo foram apresentados conceitos sobre vapor e componentes que constituem um sistema de geração e utilização do vapor. As instalações de vapor existente na INPA não contempla o reaproveitamento energético do vapor residual das máquinas de papel. Assim, o projeto consiste em reaproveitar esse vapor através do dimensionamento de um condensador que em consequência proporcionará o retorno do condensado para as caldeiras. Para atender as necessidades da empresa, foi dimensionado um condensador compatível com os sistemas já existentes na planta de geração de vapor da empresa. Os dados obtidos revelam a viabilidade da implantação do projeto que embora com investimento significativo, terá um retorno relativamente a curto prazo.

Palavras-chave: condensador; condensado; reaproveitamento; vapor

## ABSTRACT

This project emphasizes the reuse of steam discharge lines of steam systems of paper machines MP3 and MP4, case study at INPA - Packaging Industry Santana S / A. Concepts were presented on steam and components that constitute a system of steam. The existing steam system at the company currently does not include the recycling of energy in the steam left of the paper machines. The proposed in this work is to reuse the steam through the design of a condenser that collects the steam, then returning the condensate to the boilers. Meeting the needs of the company, a condenser has been designed that meets the system, aiming at the existing plant of the company. The results show the feasibility of implementing the project with an investment that although high, have a relatively quick return.

Keywords: condenser; condensed; reuse; steam

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 INPA - INDÚSTRIA DE EMBALAGENS SANTANA S/A .....	13
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>4 HISTÓRIA DO VAPOR .....</b>	<b>17</b>
4.1 AVANÇOS DA CIVILIZAÇÃO E O CONSUMO ENERGÉTICO .....	20
<b>5 CALOR.....</b>	<b>22</b>
5.1 VAPOR SATURADO E SUPERAQUECIDO .....	22
5.1.2 VAPOR “FLASH” .....	23
5.2 PODER CALORÍFICO DOS COMBUSTÍVEIS .....	23
<b>6 SISTEMA VAPOR/CONDENSADO.....</b>	<b>24</b>
6.1 GERADORES DE VAPOR .....	24
6.1.1 CALDEIRAS FLAMOTUBULARES .....	25
6.1.3 CALDEIRAS MISTAS .....	26
6.2 BALÃO SEPARADOR .....	26
6.4 VÁLVULAS DE CONTROLE .....	27
6.5 VÁLVULAS DE RETENÇÃO DE DISCO .....	28
6.6 VÁLVULAS ON-OFF .....	28
<b>7 SISTEMA VAPOR/CONDENSADO INPA .....</b>	<b>29</b>

9.1.2 ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL .....	34
9.2 ECONOMIA COM O RETORNO DA MP4 .....	34
9.3 ECONOMIA COM O RETORNO DA MP3 .....	35
9.4 ECONOMIA COM O RETORNO DA MP2 .....	35
<b>10 TROCADORES DE CALOR.....</b>	<b>36</b>
10.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR ...	36
10.1.1 CONTATO INDIRETO .....	36
10.1.2 CONTATO DIRETO .....	38
10.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO SENTIDO DO ESCOAMENTO.....	38
10.2.1 FLUXO PARALELO DE MESMO SENTIDO .....	38
10.2.2 FLUXO PARALELO DE SENTIDOS OPOSTOS .....	39
10.2.3 FLUXO CRUZADO .....	39
10.2.4 FLUXO COMBINADO .....	39
10.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO A SUA CONSTRUÇÃO.....	39
10.3.1 CASCA E TUBO .....	39
10.3.2 TROCADOR TIPO DUPLO TUBO .....	40
10.3.3 TROCADORES TIPO PLACAS .....	41
10.3.4 RESFRIADORES A AR .....	41
10.3.5 TORRES DE RESFRIAMENTO .....	43
10.3.6 NORMAS .....	44
<b>11 DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR.....</b>	<b>45</b>
11.1 CRITÉRIOS QUANTO AOS BENEFÍCIOS .....	45
11.1.1 DESEMPENHO TÉRMICO .....	45
11.1.2 DESEMPENHO OPERACIONAL.....	45
11.1.3 MANUTENÇÃO .....	45
11.1.4 FLEXIBILIDADE OPERACIONAL .....	45
11.1.5 CUSTO.....	46
11.1.6 CRITÉRIOS ADICIONAIS .....	46
11.1.7 PERDA DE CARGA .....	46
11.2 CRITÉRIOS QUANTO AO TIPO DE TROCADOR.....	46
11.2.1 CASCA E TUBOS.....	46
11.2.2 DUPLO TUBO .....	46
11.2.3 DE PLACAS.....	47
11.2.4 RESFRIADOS A AR.....	47
11.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	47
11.3.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA DE CALOR .....	47
11.3.2 MÉDIA LOGARÍTMICA DAS DIFERENÇAS DE TEMPERATURAS.....	47

11.3.3 CÁLCULO DE (LMTD).....	49
11.3.4 CARGA TÉRMICA REQUERIDA.....	49
ONDE: .....	50
11.3.5 TEMPERATURA DE SAÍDA DO FLUIDO FRIO ( $T_{fs}$ ) OU VAZÃO MÁSSICA DO FLUIDO FRIO ( $m_{ff}$ ).....	50
11.3.6 ÁREA DE TROCA DE CALOR.....	50
11.4 DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR CASCA E TUBO PARA A INPA.....	51
11.4.1 CARGA TÉRMICA NECESSÁRIA .....	51
11.4.2 TEMPERATURA DE SAÍDA DO FLUIDO FRIO ( $T_{fs}$ ).....	51
11.4.3 CÁLCULO DE $\Delta T_{ml}$ .....	53
11.4.4 ÁREA DE TROCA DE CALOR.....	53
11.5 DIMENSIONAMENTO DE UM RESFRIADOR DE AR.....	54
12 TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS .....	59
13 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
REFERÊNCIAS.....	61
ANEXO 1 TABELA DE COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA DE CALOR.....	63
ANEXO 2 MATERIAIS PARA TUBULAÇÃO DE VAPOR.....	65
ANEXO 3 CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE VAPOR EM KG/H.....	66
ANEXO 4 FLUXOGRAMA REAPROVEITAMENTO DO VAPOR.....	67
ANEXO 5 AUTORIZAÇÃO.....	68

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EOLÍPILA .....	17
FIGURA 2: MÁQUINA DE NEWCOMEN. ....	18
FIGURA 3: MÁQUINA ROTATIVA DE AÇÃO DUPLA.....	18
FIGURA 4: GRÁFICA DE MUDANÇA DE FASE. ....	22
FIGURA 5: SISTEMA BÁSICO DE VAPOR.....	24
FIGURA 6: CALDEIRA FLAMOTUBULAR.....	25
FIGURA 7: CALDEIRA AQUATUBULAR.....	25
FIGURA 8: CALDEIRA MISTA.....	26
FIGURA 9: SEPARADOR.....	27
FIGURA 10: VÁLVULA DE CONTROLE.....	28
FIGURA 11: VÁLVULA DE RETENÇÃO, TIPO FLAP CIRCULAR.....	28
FIGURA 12: GRUPO DE CILINDROS SECADORES.....	30
FIGURA 13: SISTEMA DE DESCARGA DE VAPOR DA MP4.....	32
FIGURA 14: TROCADOR TUBULAR. FONTE.....	37
FIGURA 15: TROCADOR DE ARMAZENAENTO.....	37
FIGURA 16: TROCADOR DE CONTATO DIERETO.....	38
FIGURA 17: FLUXO PARALELO.....	38
FIGURA 18: CORRENTES OPOSTAS.....	39
FIGURA 19: TROCADOR CASCA E TUBO.....	40
FIGURA 20: TROCADOR DUPLO TUBO.....	40
FIGURA 21: TROCADOR TIPO PLACAS.....	41
FIGURA 22: RESFRIADOR A AR DE TIRAGEM FORÇADA.....	42
FIGURA 23: ESQUEMA DE UM RESFRIADOR A AR DE TIRAGEM INDUZIDA.....	43
FIGURA 24: TORRE DE RESFRIAMENTO.....	43
FIGURA 25: FLUXO DE CORRENTE PARALELA.....	48
FIGURA 26: FLUXO DE CORRENTES OPOSTAS.....	48
FIGURA 27: FLUXO DE VAPOR INPA.....	53
FIGURA 28: DADOS DO TROCADOR DE ACORDO COM O FABRICANTE.....	55
FIGURA 29: CROQUI DIMENSIONAL DO RESFRIADOR A AR OFERTADO.....	56

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ASME	American Society of Mechanical Engineers
Cp	Calor Específico
h	hora(s)
INPA	Indústria de Embalagens Santana S/A
kg	Quilograma
KJ	Quilo Joules
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MP2	Máquina de Papel 2
MP3	Máquina de Papel 3
MP4	Máquina de Papel 4
°C	Graus Celsius
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PO	Papelão Ondulado, no contexto, lugar onde este é produzido
TEMA	Tubular Exchangers Manufactures Association
W	Watts

## INTRODUÇÃO

Hoje em dia a utilização do calor para geração de energia é essencial para muitos processos de fabricação, como secagem, desidratação, concentração, produção de reações químicas, entre outras. Olhando a nossa volta fica evidente que sem a utilização do calor a sociedade não estaria neste patamar de modernidade, consumo e padrão de vida que se encontra hoje. Olhando novamente, porém atentando para os fornecedores de calor, ficará claro que quase em seu total são provenientes de sistemas de vapor.

Para se transportar calor, energia, com facilidade e de forma vantajosa e sem riscos ambientais, o vapor d'água sem dúvidas atende a todos esses requisitos.

As empresas modernas voltadas para o futuro buscam cada vez mais maneiras de manusear adequadamente o transporte e utilização do vapor, trabalhando sempre para diminuir as perdas deste.

Para conseguir diminuir as perdas de vapor, é importante que não haja desperdício. Assim, muitas empresas utilizam trocadores de calor para coletar o vapor residual que é descartado.

Trocadores de calor são equipamentos de troca térmica entre dois fluidos de temperaturas distintas que possuem diversas aplicações como, aquecedores, resfriadores, condensadores, evaporadores, etc.

Este trabalho é composto por uma pesquisa bibliográfica de diversos autores, focando nos sistemas de vapor e seus complementos. Segue-se com o estudo da situação presente na INPA (citada a frente), referente à perda de vapor para a atmosfera pelas máquinas de papel. Sendo assim dimensiona-se um condensador para coletar e reaproveitar o vapor residual das máquinas.

### 1.1 INPA - Indústria de Embalagens Santana S/A

INPA é uma empresa de papel e papelão ondulado situada em Pirapitinga, MG, onde se fabricam caixas de papelão.

Nas instalações industriais da INPA o retorno de condensado é de aproximadamente 60%, quando o normal para um sistema similar seria de cerca de 85%.

Diante desta situação a diretoria da fábrica tem feito forte pressão para conseguir um retorno de no mínimo 80%, meta que não poderá ser alcançada sem a implantação de um

sistema de coleta do vapor que é descartado para a atmosfera, com sua posterior condensação e retorno para a caldeira.

A máquina que mais consome vapor na fábrica descarta 3500 Kg/h de vapor para a atmosfera, o que representa aproximadamente 8% de condensado jogado fora a cada dia, quantidade relevante, uma vez que o retorno é de 60% e o desejado é de 80%.

A idéia deste trabalho teve início com a minha contratação para estagiar na empresa INPA, fruto do convênio firmado entre a Sociedade Universitária Redentor e a Indústria de Embalagens Santana S/A. Ao tomar conhecimento do sistema de vapor da empresa e seus desperdícios, vislumbrei a possibilidade de dimensionar um condensador para captar o vapor que é descartado para a atmosfera, em ressonância com os anseios da direção da empresa.

O baixo retorno de condensado faz com que a adição de água fria para alimentação da caldeira seja elevada, aumentando o consumo de água e baixando a temperatura da água de alimentação, baixando a eficiência da caldeira e aumentando os custos de geração.

## 2 JUSTIFICATIVA

O condensado representa uma água de qualidade, uma vez que foi gerado a partir de uma água tratada. Ele é um recurso valioso, pois ainda contém certa quantidade de calor que não deve ser desperdiçada. Com a realização dos objetivos deste trabalho, será possível uma economia significativa, além de estar contribuindo para a questão ambiental diminuindo a queima de combustível e o uso de produtos químicos para tratar a água. É conveniente citar que segundo a SPIRAX SARCO (2005), empresa do ramo; “para cada seis graus de aumento na temperatura da água de alimentação da caldeira, tem-se aproximadamente 1% de economia de combustível”.

Em decorrência, a implantação deste projeto será mais um argumento para os consumidores que buscam empresas ambientalmente corretas, e que utilizam “políticas limpas”, tão em evidência no mundo contemporâneo.

Do ponto de vista ambiental, existem restrições legais sobre o descarte de efluentes com temperatura acima de 40 °C. Todavia a implantação de um sistema adequado de retorno de condensado pode ser visto como um dos requisitos da ISO 14000, que é a de melhoria contínua através do uso racional dos recursos naturais.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo o reaproveitamento energético do vapor residual que é descartado para a atmosfera, condensando-o e retornando este condensado para a caldeira.

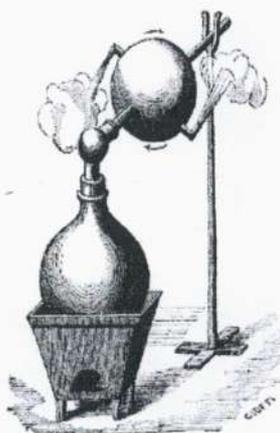
#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para isso, os seguintes objetivos específicos serão buscados:

- Dimensionamento de um trocador de calor para condensação deste vapor;
- Dimensionamento adequado das tubulações de vapor e condensado;
- Aumento da temperatura de alimentação da caldeira e decorrente menor consumo de combustível;
- Redução do consumo de produtos químicos e água de alimentação tratada da caldeira;

## 4 HISTÓRIA DO VAPOR

A percepção de que o vapor podia gerar movimento se deu há muito tempo atrás. Há 1800 anos, Heron de Alexandria, construiu o que seria um tipo de turbina a vapor, chamada eolípila. Esta consistia em uma esfera de metal com água que produzia vapor que se expandia e fazia a esfera girar quando saía através de dois bicos, colocados em posições diametralmente opostas. Porém o invento não passou disso.



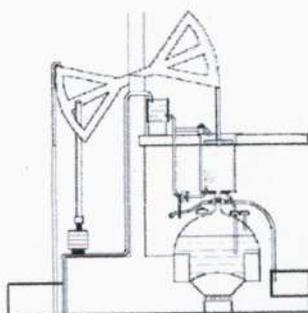
**Figura 1:** Eolípila

Fonte: [www.geracaovapor.com.br](http://www.geracaovapor.com.br)

A utilização do vapor só atingiu seu apogeu séculos mais tarde na Revolução Industrial, com a construção da primeira máquina a vapor, que partia do princípio de que a água em forma de vapor se expande e ocupa um volume de até 1.600 vezes maior do que o original, quando sob pressão atmosférica (geraçãovapor, on line).

No século XVII, o físico francês Denis Papin usou esse princípio para bombear água, através de um equipamento rudimentar que ele inventou. Era composto de um pistão dentro de um cilindro que ficava sobre uma fonte de calor e no qual se colocava uma pequena quantidade de água. O funcionamento deste equipamento se dava com a transformação da água vapor, a pressão deste forçava o pistão a subir. Então a fonte de calor era removida o que fazia o vapor esfriar e se condensar. Isso criava um vácuo parcial (pressão abaixo da pressão atmosférica) dentro do cilindro. Como a pressão do ar acima do pistão era a pressão atmosférica, ela o empurrava para baixo, realizando o trabalho (geraçãovapor, id).

Porém esta tecnologia alavancou-se somente com a invenção de Thomas Savery patenteada em 1698 e aperfeiçoada em 1712 por Thomas Newcomen e John Calley.



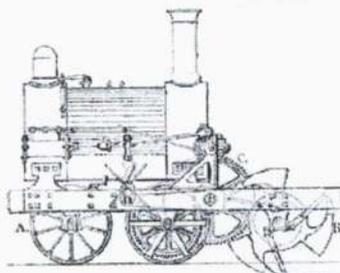
**Figura 2:** Máquina de Newcomen.

Fonte: [www.geracaoovapor.com.br](http://www.geracaoovapor.com.br)

Em tal máquina, figura 2, conseguia-se movimento mecânico pela depressão causada no interior de um cilindro que ficava localizado na parte superior de uma caldeira, que enviava para este seu vapor gerado. Enchendo-se o cilindro com vapor, fazia com que subisse um pistão, logo após era injetada água fazendo o vapor condensar e criar a depressão, que puxava o pistão e acionava um balancim. Este era ligado a uma haste que levantava o êmbolo quando o pistão se movia para baixo. O vácuo resultante retirava a água de poços de mina inundados.

Mas a máquina de Newcomen, não possuía retorno de condensado, foi então que um construtor de instrumentos escocês chamado James Watt construiu uma espécie de câmara refrigerada onde se condensava o vapor. Esta possuía um vácuo parcial que era mantido através de uma bomba e uma válvula que retirava periodicamente o vapor do cilindro. Isso reduziu o consumo de combustível em 75%. Essa máquina é similar à que possuímos hoje.

Anos mais tarde James Watt, projetou e patenteou o que seria uma máquina onde o vapor era introduzido pelas duas extremidades do pistão, realizando um movimento para cima e para baixo. Esta ficou sendo chamada de máquina rotativa de ação dupla, ilustrada na figura 3. Com isso foi possível prender o êmbolo do pistão a uma manivela ou um conjunto de engrenagens para produzir movimento rotativo e permitiu que essa máquina pudesse ser usada para impulsionar mecanismos, girar rodas de carroças ou pás para movimentar navios em rios.



**Figura 3:** Máquina rotativa de ação dupla.

Fonte: [www.geracaoovapor.com.br](http://www.geracaoovapor.com.br)

Com os avanços, já no fim do século XVIII, Watt e seu companheiro Matthew Boulton produziam máquinas que eram capazes de fornecer energia para fábricas, moinhos e bombas em todo o mundo.

Richard Trevithick na Inglaterra e Oliver Evans nos Estados Unidos desenvolveram caldeiras que operavam em altas pressões, revolucionando todo o sistema de transporte, pois podiam ser utilizadas para movimentar locomotivas, barcos fluviais e, depois, navios.

O vapor produzido em um gerador de vapor pode ser usado de diversas formas:

- Em processos de fabricação e beneficiamento;
- Na geração de energia elétrica;
- Na geração de trabalho mecânico;
- No aquecimento de linhas e reservatórios de óleo combustível;

Nos processos de fabricação e de beneficiamento, o vapor é empregado (geração vapor, id);

- Indústria de bebidas e conexos: nas lavadoras de garrafas, tanques de xarope, pasteurizadoras.
- Indústrias madeireiras: no cozimento de toras, secagem de tábuas ou lâminas em estufas, em prensas para compensados.
- Indústria de papel e celulose: no cozimento de madeira nos digestores, na secagem com cilindros rotativos, na secagem de cola, na fabricação de papelão corrugado.
- Curtumes: no aquecimento de tanques de água, secagem de couros, estufas, prensas, prensa a vácuo.
- Indústrias de laticínios: na pasteurização, na esterilização de recipientes, na fabricação de creme de leite, no aquecimento de tanques de água, na produção de queijos, iogurtes e requeijões (fermentação).
- Indústria de doces em geral: no aquecimento do tanque de glicose, no cozimento de massa em panelas sob pressão, em mesas para o preparo de massa, em estufas.
- Indústria de vulcanização e recauchutagem: na vulcanização, nas prensas.
- Indústrias químicas: nas autoclaves, nos tanques de armazenamento, nos reatores, nos vasos de pressão, nos trocadores de calor.

- Indústria têxtil: utiliza vapor no aquecimento de grandes quantidades de água para alvejar e tingir tecidos, bem como para realizar a secagem em estufas.
- Indústria de petróleo e seus derivados: nos refervedores, nos trocadores de calor, nas torres de fracionamento e destilação, nos fornos, nos vasos de pressão, nos reatores e turbinas.
- Indústria metalúrgica: nos banhos químicos, na secagem e pintura.

#### 4.1 AVANÇOS DA CIVILIZAÇÃO E O CONSUMO ENERGÉTICO

O avanço da civilização humana tem como um dos principais fatores o aumento do consumo energético. Tal fator se deve ao constante avanço tecnológico nos setores de transporte, processos de produção, etc.

Novas alternativas de energia se tornam de extrema importância tanto para as principais potências quanto para os países emergentes. Com isso, somado a recente preocupação com os riscos ambientais, impulsionou-se uma busca por fontes renováveis de energia.

Segundo HINRICHES; KLEINBACH (2003), o acesso as matrizes energéticas adequadas e confiáveis, com o desenvolvimento do setor energético, e o suprimento e abastecimento de energia, proporcionaram ao consumidor a compra de energia do fornecedor de sua preferência sem importar-se com o custo. Muitas pessoas decidiram comprar energia de fornecedores que poluissem menos, as chamadas alternativas de “energia verde”.

A palavra “energia” é definida por diversos autores, como “a capacidade de realizar trabalho”; “energia não se cria, se transforma”, entre outras definições e conceitos. Tão importante quanto a definição do que seja energia, é o fato de que a mesma existe em grande quantidade no universo e que ela não aumenta nem diminui, mas passa por inúmeras transformações.

Para RICHARD BALZHISER (1996), ex-presidente do Electric Power Research Institute:

Energia não é um fim em si mesmo. Os objetivos fundamentais que devemos ter em mente são uma economia e um ambiente saudável. Temos que delinear nossa política energética como um meio para atingirmos estes objetivos, e não apenas para este país (EUA), mas também em termos globais.

Uma das principais fontes de energias utilizadas nas indústrias hoje, principalmente as de papel e papelão, é o vapor, utilizado para secar o papel depois de sua formação.

Vapor é o estado físico da água após adquirir certa quantidade de calor.

O vapor é largamente utilizado, pois é proveniente da água, que é um fluido de certa forma barato e abundante no planeta. Ele pode ser facilmente transportado em tubulações, sua temperatura é facilmente ajustada e carrega grande quantidade de energia. Sem contar que o vapor é uma substância limpa e sem grandes problemas de poluição ambiental.

## 5 CALOR

Em se tratando de calor, como muitos autores dizem “é a energia térmica total de um fluido líquido ou gasoso” e existem dois tipos: sensível e latente. Calor sensível “é a quantidade de calor contido na água em seu estado líquido ou de vapor”. Já o calor latente “é o calor adicional que a água recebe durante a mudança de fase a uma pressão constante”.

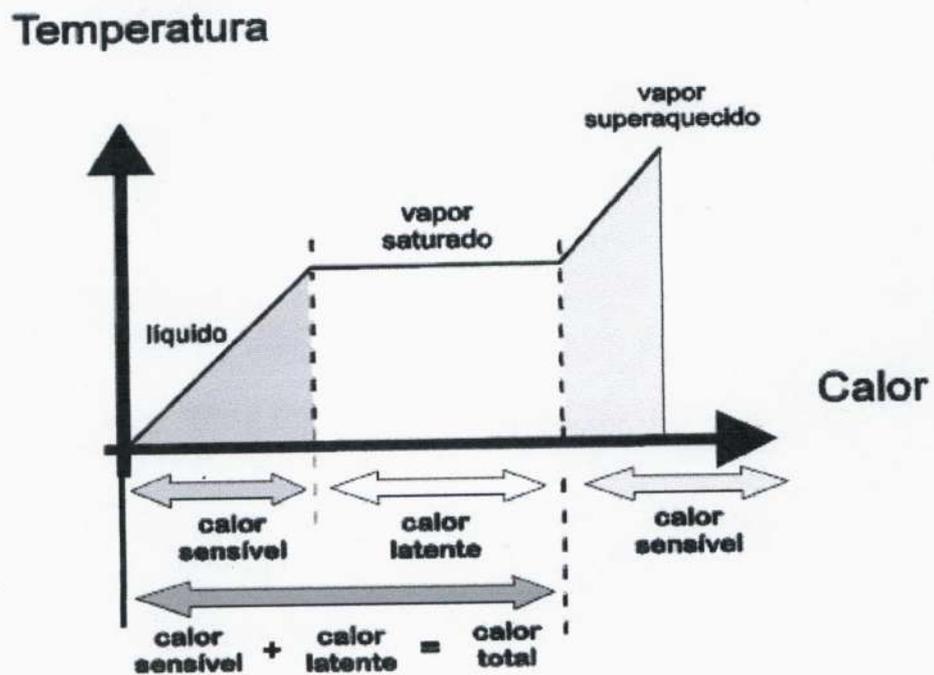


Figura 4: Gráfica de mudança de fase. Fonte: SPIRAX SARCO

A soma dos calores sensível e latente é igual ao calor total.

### 5.1 VAPOR SATURADO E SUPERAQUECIDO

Como pode ser observado na figura 4, existe o vapor saturado e o vapor superaquecido. Relembrando os conceitos de mudança de fase da água para vapor, pode-se observar que ela vai absorvendo calor latente e transformando parte do estado líquido em vapor, quando nesta mistura existir uma pequena parcela de água, chamamos esta mistura de Vapor Saturado Úmido.

Assim que todo o calor latente necessário for absorvido e não existir mais líquido, o vapor é chamado Vapor Saturado Seco.

Se o vapor saturado seco continuar a absorver calor (calor sensível, a partir deste ponto) e atingir temperaturas acima da temperatura de saturação, ele será chamado de Vapor Superaquecido.

Geralmente o vapor superaquecido é utilizado para mover máquinas como turbinas, já o vapor saturado seco é utilizado onde tem que haver troca de calor rapidamente como na secagem de papel, durante seu processo de fabricação. Isto porque o vapor superaquecido primeiro perde seu calor sensível para depois perder o calor latente, onde este é o que realiza melhor troca térmica e é responsável pela secagem.

Ao se trocar calor latente o vapor começa a se condensar, gerando o condensado, este possuindo ainda certa quantidade de calor que pode ser reaproveitado na forma de “vapor flash”.

### **5.1.2 Vapor “Flash”**

Vapor flash nada mais é do que vapor reevaporado do condensado. Este processo é acelerado no separador através de uma válvula de estrangulamento em sua entrada. O vapor flash ainda contém energia que pode ser reaproveitada, como exemplo no sistema de cascata, que será explicado mais adiante, utilizado quando se tem vários separadores.

## **5.2 PODER CALORÍFICO DOS COMBUSTÍVEIS**

Como mencionado anteriormente, o vapor é um bom condutor de energia, a qual é fornecida durante a queima dos combustíveis. Sendo assim o poder calorífico pode ser apresentado para os sólidos e líquidos por unidade de massa e para gases por unidade de volume. Estas medições, referidas à pressão atmosférica e a temperatura de 0 °C, (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA 2005). A água usualmente presente nos produtos de combustão, resultante da oxidação do hidrogênio, pode se apresentar nos estado líquido e gasoso. O Poder Calorífico Superior (PCS) é definido para a água no estado líquido, sendo este pouco aplicado nas situações práticas. O Poder Calorífico Inferior se refere a água no estado de vapor.

## 6 SISTEMA VAPOR/CONDENSADO

Um sistema onde se tem uma caldeira como geradora de vapor, é tido teoricamente como um “sistema fechado”. Neste a mesma água utilizada na caldeira para gerar o vapor, circula pelo sistema, troca calor, realiza trabalho, condensa e retorna novamente para a caldeira para ser evaporada novamente, fechando o ciclo. Não existe um sistema perfeito, pois existem perdas por vazamentos, logo este condensado deve ser completado com mais água, chamada de água de alimentação ou “make-up”.

Abaixo, na figura 5, a representação de um sistema básico de vapor com retorno de condensado e complementado com água de “make-up”.

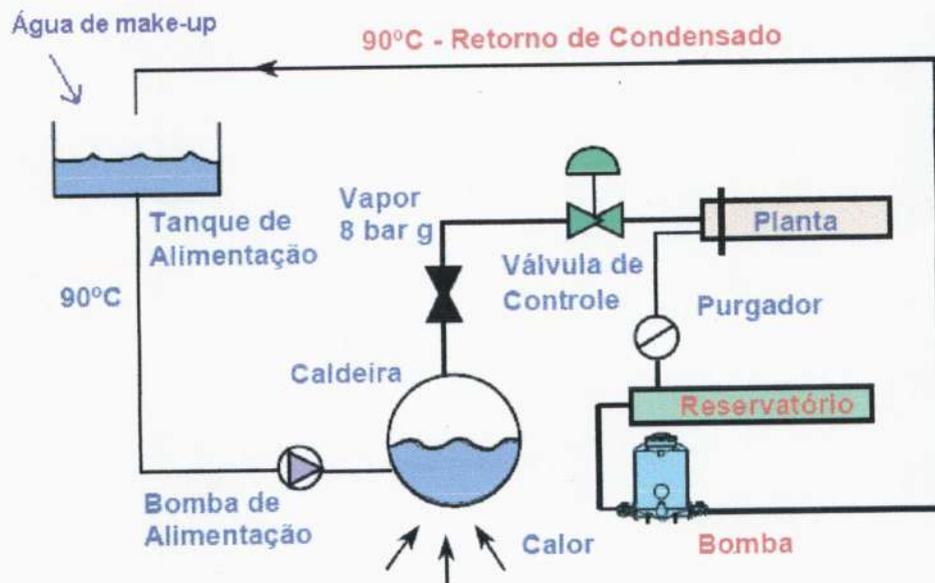


Figura 5: Sistema básico de vapor. Fonte: SPIRAX SARCO

### 6.1 GERADORES DE VAPOR

Geradores de vapor são aqueles que fornecem o tão necessário vapor para a vida fabril, não só para movimentar máquinas, mas para muitas outras atividades como secagem, aquecimento, limpeza, etc. O mais importante gerador de vapor é a caldeira

Caldeira é da forma mais simples possível similar a uma panela de pressão gigante, onde água é aquecida a altas temperaturas com determinadas pressões a fim de se conseguir vapor. Ela também pode ser considerada como um trocador de calor que trabalha a altas pressões, produzindo vapor absorvendo energia fornecida por uma fonte qualquer. Graças à modernização existem diversos tipos de caldeiras com diferentes princípios de funcionamento.

### 6.1.1 Caldeiras Flamotubulares

São aquelas em que o fogo passa por dentro de tubos que são circundados por água, que aquecida produzirá vapor. São construídas para operar com pressões limitadas, pois sua estrutura e partes internas não suportariam pressões relativamente altas. (ALTAFINI, 2002)

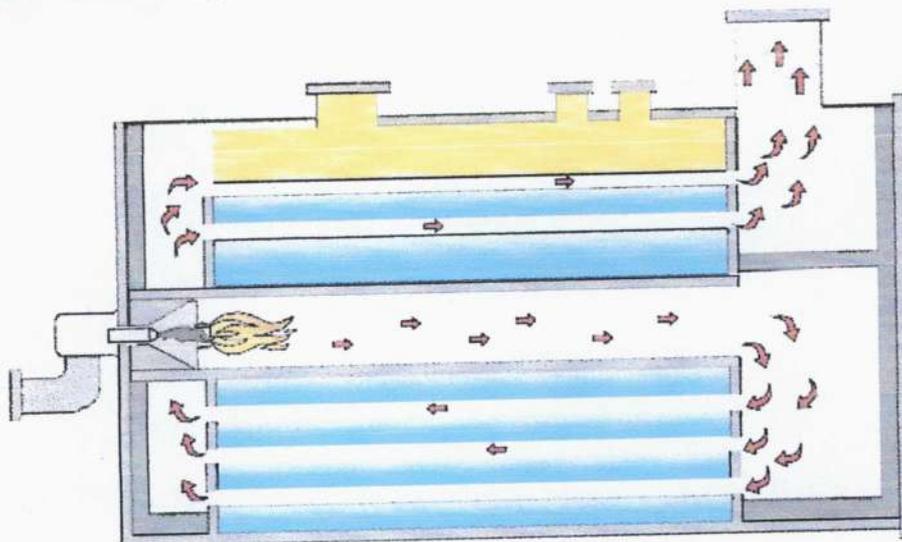


Figura 6: Caldeira Flamotubular. Fonte: SPIRAX SARCO

### 6.1.2 Caldeiras Aquatubulares

São caldeiras onde a passagem do fogo é contrária a da flamotubular, nesta a água passa por dentro dos tubos que é circundado pelo fogo da fornalha. São caldeiras que suportam pressões relativamente altas e possuem grande produção de vapor, uma vez que a área de contato com o fogo é muito maior.

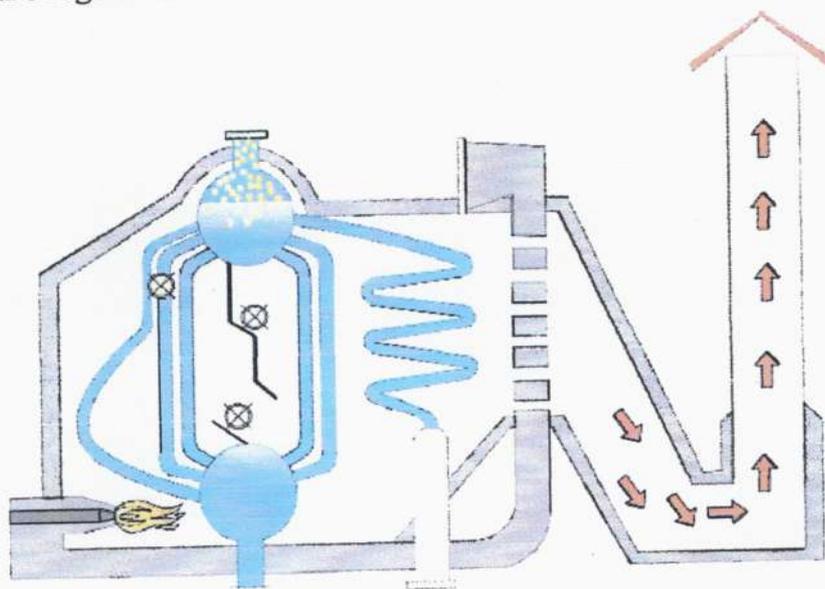


Figura 7: Caldeira Aquatubular. Fonte: SPIRAX SARCO

### 6.1.3 Caldeiras Mistas

São caldeiras que misturam as duas tecnologias, flamo e aqua, em uma só, ou seja, nelas possuem tubos em que se passa água e tubos onde se passa fogo.

O tipo mista são as principais geradoras de vapor na INPA hoje, queimando biomassa, no caso: cavaco de eucalipto.

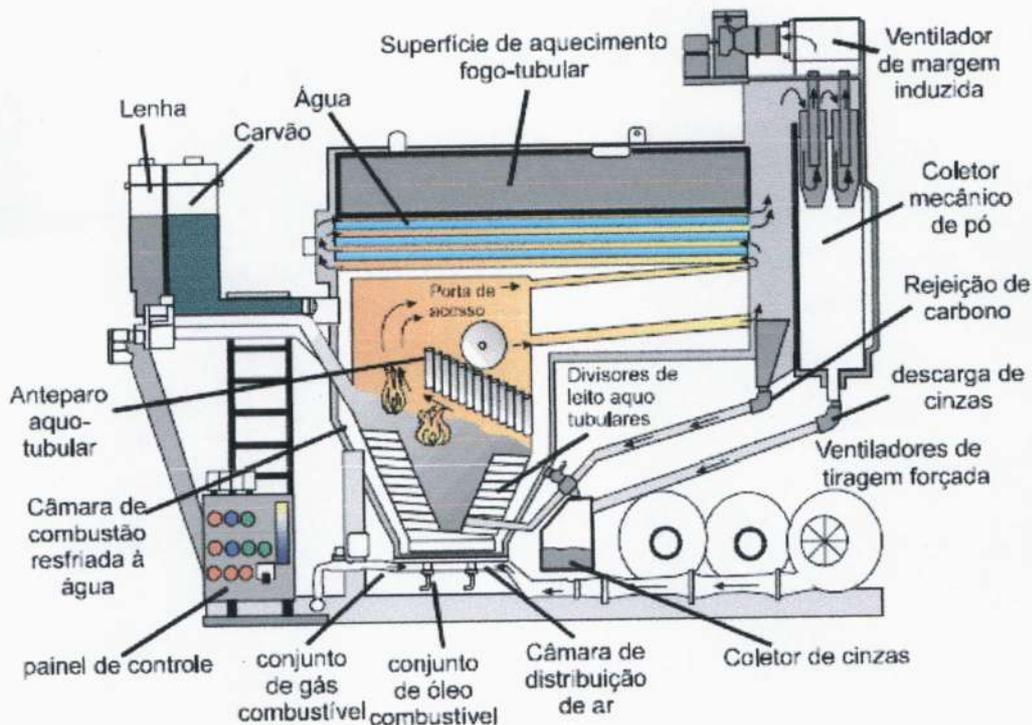
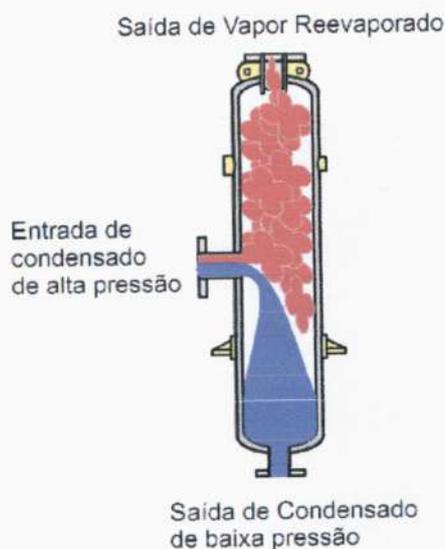


Figura 8: Caldeira Mista. Fonte: SPIRAX SARCO

### 6.2 BALÃO SEPARADOR

Como o próprio nome diz, o balão separador, ou apenas separador é um vaso que tem a finalidade de separar o vapor do condensado. Para isso, seu diâmetro deve provocar uma queda de velocidade, fazendo com que o condensado caia na parte inferior e com o vapor flash possui densidade menor irá subir e entrar no sistema novamente.

Geralmente nos sistemas de vapor que utilizam separadores, um deles é tido como aquele que recebe todo o condensado dos outros e o vapor final do sistema, este é aberto para a atmosfera, logo sua pressão é inferior a dos outros, fazendo com que a condução do condensado seja feita por diferença de pressão. Este separador também possui uma bomba de condensado que tem a função de retornar todo o condensado acumulado, bem como o vapor flash que é descartado ou então é coletado e condensado para também retornar para a caldeira. A figura 9 retrata o funcionamento de um separador simples.



**Figura 9:** Separador.  
Fonte: SPIRAX SARCO

#### 6.4 VÁLVULAS DE CONTROLE

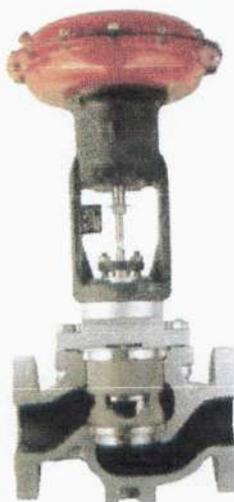
Válvulas de controle são aquelas capazes de regular sua abertura em qualquer posição intermediária entre completamente fechada e aberta, também modular, ou seja, automaticamente, responder com um percentual de abertura, a uma determinada ação do fluido. Porém nem todas as válvulas de controle são capazes de oferecer uma posição 100% fechada.

Estas válvulas recebem sinais de controladores que podem ser automáticas, manuais ou acionadas por solenóides piloto.

Enfim existem muitos tipos de válvulas de controle, as quais se caracterizam pela capacidade de trabalharem em posição intermediária. A figura 10 ilustra uma típica válvula de controle.

Entre as funções de uma válvula de controle se destacam:

- Controlar a contenção do fluido do processo;
- Responder ao sinal do controlador, transformando este sinal em um movimento da haste;
- Controlar a área de passagem do fluido, logo sua vazão;
- Responder às variações de pressão, fornecendo ou absorvendo as quedas de pressão.



**Figura 10:** Válvula de Controle.  
Fonte: [www.bbg.srv.br](http://www.bbg.srv.br)

### 6.5 VÁLVULAS DE RETENÇÃO DE DISCO

São também conhecidas como “válvulas unidirecionais”, figura 11, são aplicadas com a finalidade de evitar a inversão de fluxo no sentido contrario, (Prof. ZATTONI, 2005).



**Figura 11:** Válvula de Retenção, tipo flap circular.  
Fonte: Apostila Material para Tubulação, on line.

### 6.6 VÁLVULAS ON-OFF

São válvulas similares às de comando. As ON-OFF recebem comando elétrico, para abrir e fechar totalmente, elas não operam em meio termo.

## **7 SISTEMA VAPOR/CONDENSADO INPA**

A INPA gera hoje em torno de 44 toneladas de vapor por dia, para atender a três máquinas de papel, cada uma com seu consumo específico, a um setor industrial chamado PO e a duas cozinhas de amido.

Para esta produção de vapor, a INPA dispõe de duas caldeiras de biomassa de 21 Kgf/cm<sup>2</sup> cada e três caldeiras de óleo que ajudam quando necessário a manter o sistema em equilíbrio.

### **7.1 VAPOR CONDENSADO MP2, MP3 e MP4**

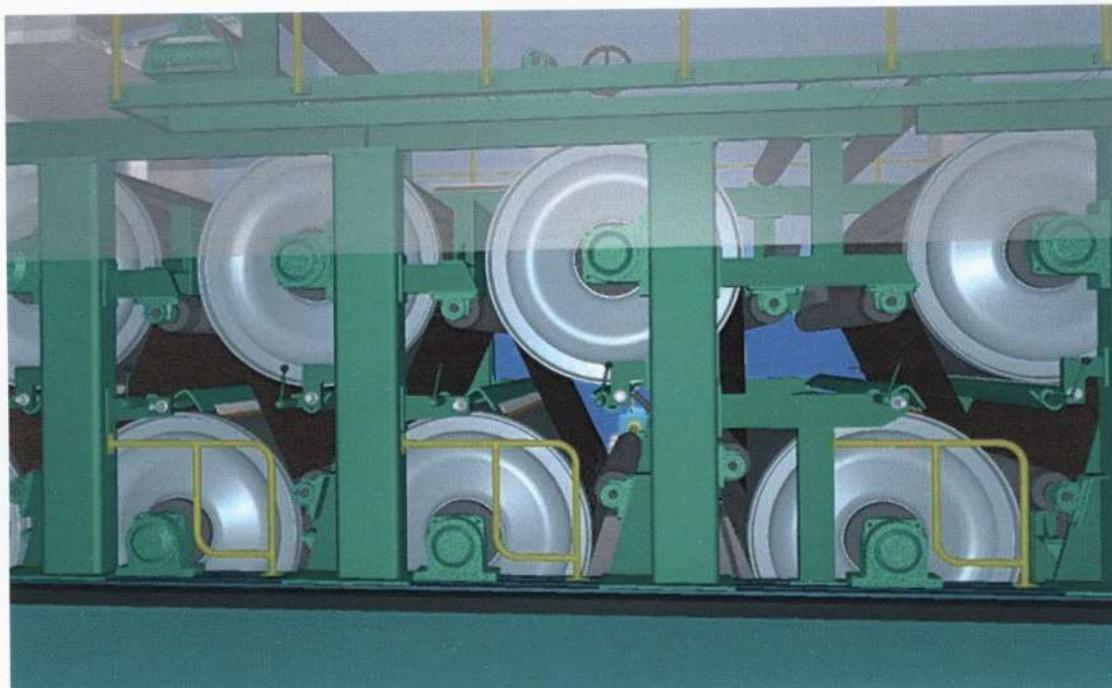
As máquinas de papel de um modo geral utilizam vapor para a secagem do papel depois de sua aglutinação.

A MP2 possui um baixo consumo de vapor em relação às outras, pois o papel produzido nela é de outro seguimento, gramatura inferior, logo seu consumo de vapor é menor. Outro diferencial é que na MP2 o condensado gerado é totalmente descartado, pois não existe sistema de retorno.

A MP3 e a MP4 possuem tubulações de retorno de condensado, através dos balões separadores. São as maiores consumidoras. Atualmente está sendo realizado um trabalho de rearranjo nas linhas de vapor da MP4 e substituído algumas linhas da MP3. A quantidade de vapor descartado para a atmosfera pelas máquinas é de 3500 kg/h e 2800 kg/h respectivamente.

#### **7.1.1 Cilindros Secadores**

São cilindros laminadores propriamente ditos, onde, no seu interior é injetado vapor saturado. O papel faceia sua superfície trocando calor e secando. O condensado acumulado no interior dos cilindros é retirado através de dispositivos chamados de pescadores que através da força centrípeta coletam este condensado. A figura 12 abaixo, demonstra um grupo de cilindros secadores.



**Figura 12:** Grupo de Cilindros Secadores. Fonte: INPA

## 7.2 VAPOR/CONDENSADO PO

PO – Papelão Ondulado é um setor específico da fábrica de papelão onde o papel é processado para se tornar chapa de papelão e posteriormente caixa.

O vapor no PO é usado em um equipamento para ajudar na colagem da chapa de papelão (capa, miolo e contracapa), posteriormente na secagem desta chapa e também para cozinhar amido.

Teoricamente todo o condensado gerado pelo PO deveria retornar, mas a atual situação é de muitos vazamentos e a existência de três mangueiras de vapor que são utilizadas incorretamente para limpar o piso.

## 7.3 VAPOR/CONDENSADO COZINHAS DE AMIDO

Acredita-se, fruto da experiência diária, que o consumo de vapor nas cozinhas de amido seja de 6000 kg/h. Consumo que por projeto deveriam ser em torno de 4000 Kg/h.

O vapor nas cozinhas é utilizado para cozinhar o amido que é adicionado no papel. Cozimento obtido por meio da injeção de vapor vivo em uma linha que se encontra com um fluxo de solução de água mais amido. A alta temperatura do vapor e respectiva pressão fazem com que o amido cozinhe. Neste processo de cozimento não há retorno de condensado.

Está em andamento um estudo e verificação “in loco” para buscar os motivos de o consumo estar acima do projetado. Há expectativa de que se consiga reduzir este consumo em pelo menos 2000 kg/h.

#### 7.4 TABELA GERAL

Através da tabela 1 abaixo, é possível perceber que não é possível alcançar a meta de 80% de retorno de condensado, sem a implantação de um projeto que contemple o retorno do vapor que é descartado pelas máquinas.

**Tabela 1: Consumo de Vapor INPA. Fonte: Acervo pessoal**

<b>CONSUMIDORES</b>	<b>CONSUMO (Kg/h)</b>	<b>RETORNO (Kg/h)</b>	<b>PODE SER RETORNADO (Kg/h)</b>
<b>MP2</b>	2.000	0	1.200
<b>MP3</b>	14.000	11.200	2.800
<b>MP4</b>	18.000	14.000	3.500
<b>PO</b>	4.000	3.500	500
<b>COZ. AMIDO</b>	6.000	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>44.000</b>	<b>28.700</b>	<b>8.000</b>
<b>PORCENTAGEM</b>	<b>100%</b>	<b>65%</b>	<b>18%</b>

Há de se ressaltar que nessa tabela não estão contabilizados vazamentos, que são problemas constantes hoje na fábrica.

## 8 RETORNO DE CONDENSADO MP3 E MP4

O sistema de retorno de condensado das principais máquinas de papel da fábrica é similar entre si, com diferencial no consumo de vapor e no número de balões, sendo 4 balões para a MP4 e 3 balões para a MP3.

Depois que o vapor entra na primeira bateria de cilindros secadores e realiza a troca térmica, ele se condensa e ainda possui energia que pode ser reutilizada. Assim este condensado é coletado por um balão separador, onde o vapor flash é retornado para a máquina, misturado com vapor vivo e entra para a próxima bateria de secadores, sistema de cascata. O condensado coletado pelo balão, assim como o próximo, é deslocado para o balão chamado de S1 por diferença de pressão. Este não possui retorno de vapor flash, seu vapor residual é descartado para a atmosfera. É este balão que descarta 2.800 kg/h e 4.000 kg/h de vapor da MP3 e MP4. A figura 13 abaixo mostra o sistema de vapor da MP4 descartando seu vapor residual.

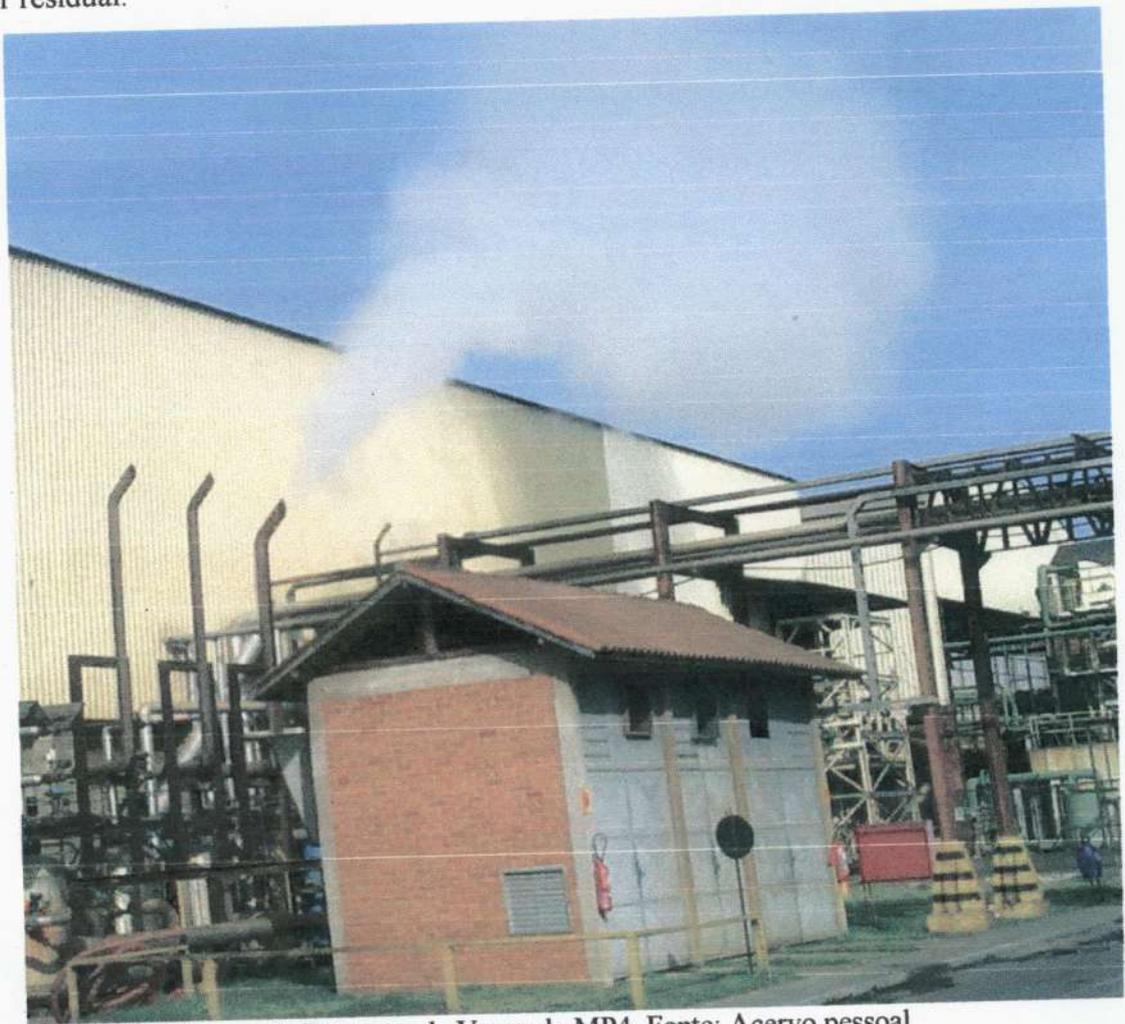


Figura 13: Sistema de Descarga de Vapor da MP4. Fonte: Acervo pessoal

## 9 ECONOMIA COM O RETORNO DE CONDENSADO

Anteriormente, o retorno de condensado apresenta vários benefícios. Mesmo que a vazão seja pequena vale a pena retornar qualquer condensado. Seu retorno significa:

- Economia de combustível, pois o retorno de condensado a uma temperatura elevada irá aumentar a temperatura da água de alimentação, diminuindo o consumo de combustível;
- Economia de água tratada, pois o condensado veio de uma água já tratada, logo apresenta as mesmas características;
- Economia de produtos químicos, pois economizará produtos para tratar a água.

### 9.1 FÓRMULAS

A Spirax Sarco, 2005, trás fórmulas para calculo de economia com o condensado retornado, baseadas na economia de água tratada e de combustível.

Para os cálculos, alguns dados são necessários:

- Vazão do condensado a ser retornado;
- Horas anuais de operação;
- Custo total da água tratada;
- Temperatura do condensado de retorno;
- Temperatura da água fria de reposição;
- Diferença entre a temperatura do condensado de retorno e da água fria de retorno ( $\Delta T_{H_2O}$ );
- Custo do combustível;
- PCI do combustível.

Para a situação encontrada a vazão de condensado será aproximadamente igual à vazão de vapor, pois este vapor não se encontra pressurizado e considerando a massa específica como sendo constante.

### 9.1.1 Economia de Água Tratada e Produtos Químicos

Economia no custo anual de água =

$$\frac{\text{Vazão de condensado} \times \text{horas anuais de operação} \times \text{custo total da água}}{1000 \text{ litros/tonelada}}$$

### 9.1.2 Economia de Combustível

Economia anual de combustível =

$$\frac{\text{Vazão de cond.} \times \text{horas anuais de operação} \times \Delta T_{\text{H}_2\text{O}} \times \text{calor específico do combust.} \times \text{custo do combust.}}{\text{PCI}}$$

## 9.2 ECONOMIA COM O RETORNO DA MP4

Considerando os dados coletados em campo, tem-se que:

- Vazão do condensado a ser retornado de acordo com a KADANT JOHNSON LATIN AMERICA S.A., 2006 (empresa do ramo de sistemas de vapor que realizou o balanço de vapor na fábrica), acrescido de um valor estimado devido às alterações no sistema = 3500 Kg/h
- Horas anuais de operação = 24h x 365dias = 8760 horas anuais
- Custo total da água tratada = 1,20 R\$/m<sup>3</sup>
- Temperatura do condensado de retorno = 90 °C
- Temperatura da água fria de reposição  $\cong$  20 °C
- Diferença entre a temperatura do condensado de retorno e da água fria de retorno ( $\Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$ ) = 70 °C
- Custo do combustível (cavaco eucalipto) = 0,25 R\$/Kg
- PCI (cavaco eucalipto) = 3400 KJ/Kg

Seguindo as formulas dos itens 9.1.1 e 9.1.2, tem-se que:

- Economia de água = R\$36.792,00/ano
- Economia de combust. = R\$102.576,00/ano

**Economia total MP4 = R\$139.368,00/ano ou R\$11.614,00/mês**

### 9.3 ECONOMIA COM O RETORNO DA MP3

A única diferença da MP3 para a MP4 será na vazão de condensado retornado, que de acordo com o projeto da KADANT JOHNSON LATIN AMERICA S.A., 2010 (novo balanço realizado este ano), será de 2800 Kg/h, logo:

- Economia de água = R\$29.434,00/ano
- Economia de combustível = R\$82.061,00/ano

**Economia total MP3 = R\$111.495,00/ano ou R\$9.291,00/mês**

### 9.4 ECONOMIA COM O RETORNO DA MP2

Como já mencionado anteriormente a MP2 não possui um sistema de retorno de condensado, logo o valor de retorno de condensado estimado de acordo com a tabela 1 é de 1200 Kg/h, logo:

- Economia de água = R\$12.614,00/ano
- Economia de combustível = R\$ 35.169,00/ano

**Economia total MP2 = R\$47.783,00/ano ou R\$3.982,00/mês**

Vale ressaltar que os cálculos realizados para avaliar o “quantum” de economia em R\$ que seria obtido com a implantação do retorno de condensado das máquinas se basearam na produção de vapor pelas caldeiras de biomassa que utilizam o cavaco de eucalipto, não considerando em momento algum a utilização das caldeiras a óleo. Lembrando que o custo das caldeiras a óleo são superiores, elevariam o montante a ser economizado quando as mesmas estivessem operando.

## 10 TROCADORES DE CALOR

Tendo como parâmetro a estimativa de economia apresentada no item anterior, ficou evidente que é viável investir para que todo o retorno de condensado seja aproveitado. Logo será necessário o desenvolvimento de um sistema que seja capaz de coletar este vapor que é descartado, condensá-lo e retorná-lo para a caldeira.

A melhor maneira técnica de coletá-lo seria através de um trocador de calor que funcionasse como um condensador. Este retornaria condensado para o próprio balão S1, que já possui uma bomba de retorno para a caldeira.

Trocadores de calor fazem parte da subclasse de vasos de pressão que segundo SILVA TELLES, VASOS DE PRESSÃO, 2007, vaso de pressão é qualquer tipo de recipiente que possa armazenar um fluido sob pressão.

Trocadores de calor são equipamentos projetados para realizar troca térmica entre dois fluidos com temperaturas distintas, separados por paredes, ou não. Existe uma grande variedade de trocadores de calor com diversas classificações que serão apresentadas mais a frente.

Este tipo de troca térmica entre dois fluidos separados por uma parede possui muitas aplicações dentro da engenharia. As principais aplicações atribuídas aos trocadores de calor são de: Aquecedores, resfriadores, condensadores, evaporadores, torres de refrigeração, caldeiras, etc.

Um projeto de trocador de calor possui basicamente três fases:

- Análise térmica;
- Projeto mecânico preliminar;
- Projeto de fabricação.

Para este projeto só será analisado a parte térmica, pois o principal foco do projeto não é a construção de um trocador, mas sim o dimensionamento de um existente no mercado que atenda ao maior número de especificações exigidas pelo caso estudado.

### 10.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

#### 10.1.1 Contato Indireto

Não permite o contato entre os fluidos. O calor é transmitido por condução através das paredes dos tubos.

Os trocadores de contato indireto classificam-se em:

- Transferência direta; neste tipo de equipamento há um fluxo direto e contínuo de calor do fluido mais quente para o frio. Não há contato entre eles. Este trocador pode também ser chamado de recuperador, como exemplo tem-se:
  - Trocadores de Placa;
  - Tubular (figura 14);
  - Trocadores aletados.

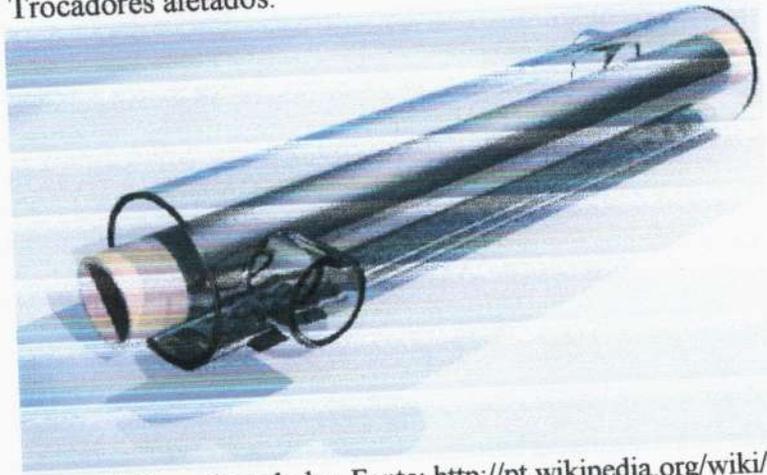


Figura 14: Trocador tubular. Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Trocador\\_de\\_calor](http://pt.wikipedia.org/wiki/Trocador_de_calor)

- Armazenamento: neste tipo de trocador, ambos os fluidos passam pelo mesmo caminho, porém alternadamente. Durante o caminho existem estruturas, chamadas de matriz, estas possuem a capacidade de absorver calor, por exemplo, e quando o fluido frio passa ele absorve esse calor armazenado, no caso da refrigeração acontece o contrário. Este trocador também é chamado de regenerador e pode ser analisado com maior clareza na figura 15.

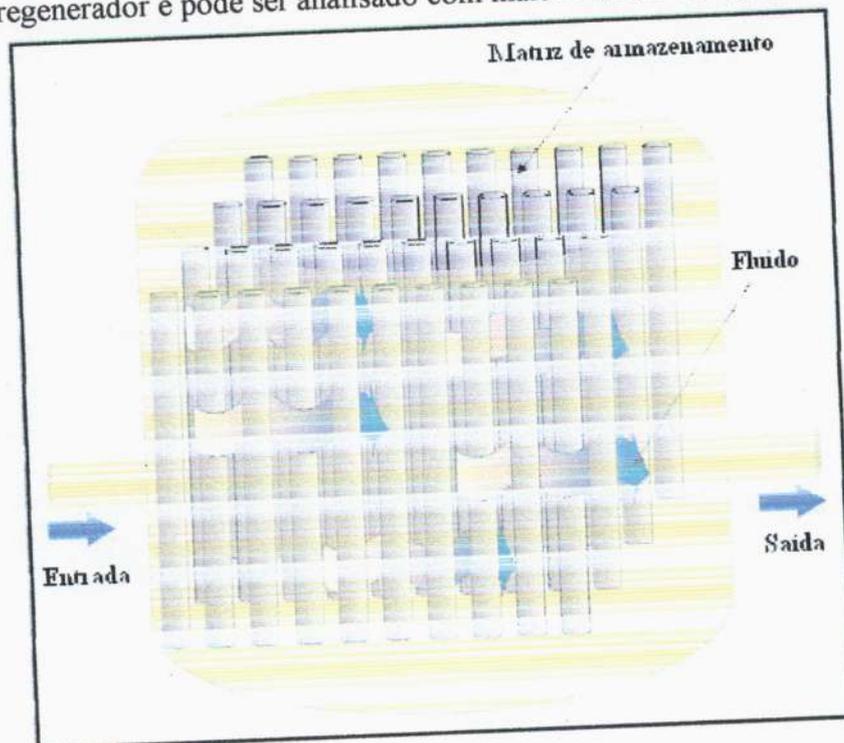


Figura 15: Trocador de Armazenamento.

Fonte: [http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a/TrocadoresdeCalor.pdf](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a/TrocadoresdeCalor.pdf)

### 10.1.2 Contato Direto

Neste tipo de trocador, os fluidos se misturam no interior do aparelho, como mostra a figura 16, logo além da transferência de calor, também haverá de massa. Neste são alcançadas grandes taxas de transferência de calor, sua construção é relativamente barata e suas aplicações são limitadas aos casos onde se pode ter contato direto entre os dois fluidos.

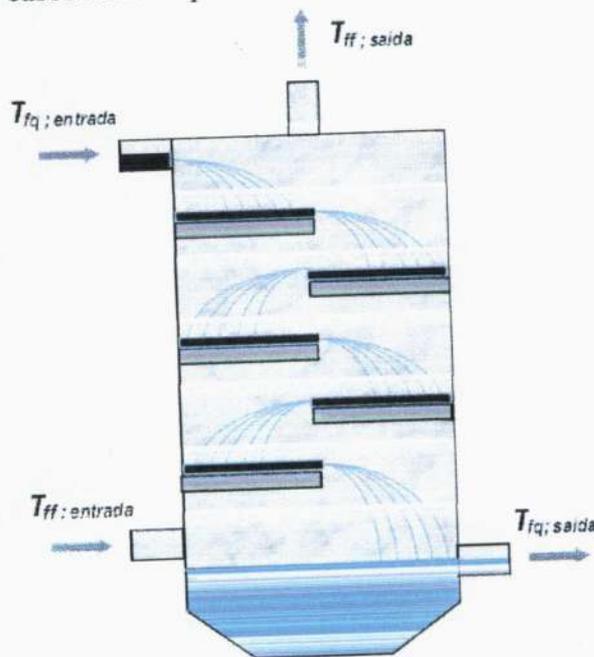


Figura 16: Trocador de Contato Direto.

Fonte: [http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a/TrocadoresdeCalor.pdf](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a/TrocadoresdeCalor.pdf)

## 10.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO SENTIDO DO ESCOAMENTO

### 10.2.1 Fluxo Paralelo de Mesmo Sentido

Fluxo paralelo de mesmo sentido: neste, ambos os fluidos entram no trocador paralelamente e seguindo o mesmo sentido de fluxo e o deixa com temperaturas próximas umas das outras, porém menores do que a temperatura do fluido mais quente, como mostra a figura 17.

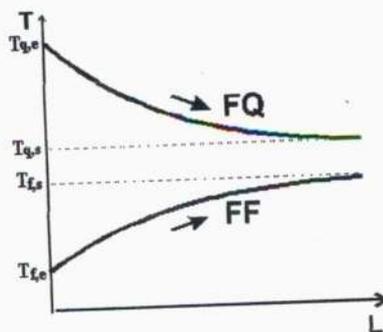


Figura 17: fluxo paralelo.

Fonte: [http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a/TrocadoresdeCalor.pdf](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a/TrocadoresdeCalor.pdf)

### 10.2.2 Fluxo Paralelo de Sentidos Opostos

Parecido com o anterior, exceto pelo fato de que os fluxos são em sentidos opostos, neste o fluido mais frio deixa o trocador com uma temperatura próxima ao do fluido quente de entrada, como mostra a figura 18. Geralmente este trocador é indicado quando se quer ter um bom aquecimento da água de refrigeração.

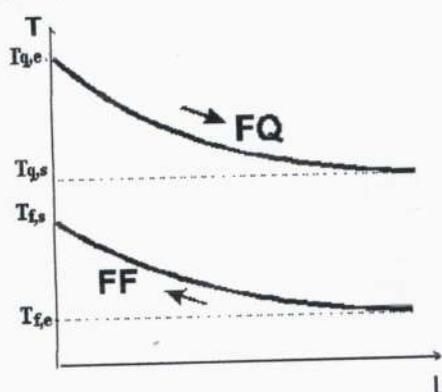


Figura 18: correntes opostas

Fonte: [http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a/TrocadoresdeCalor.pdf](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a/TrocadoresdeCalor.pdf)

Para trabalhos de condensação, onde se pretende condensar um vapor na mesma temperatura, os trocadores de fluxo paralelo são os mais indicados e proporcionam uma economia das superfícies de troca de calor.

### 10.2.3 Fluxo Cruzado

São chamados assim os trocadores onde um dos fluidos apresenta um sentido perpendicular ou quase em relação ao outro. São indicados para trabalhos com grande quantidade de fluido mais quente como quando o vapor é condensado ao encontrar os tubos onde passam o fluido mais frio em seu interior.

### 10.2.4 Fluxo Combinado

Fluxo combinado: uma associação dos dois últimos citados anteriores.

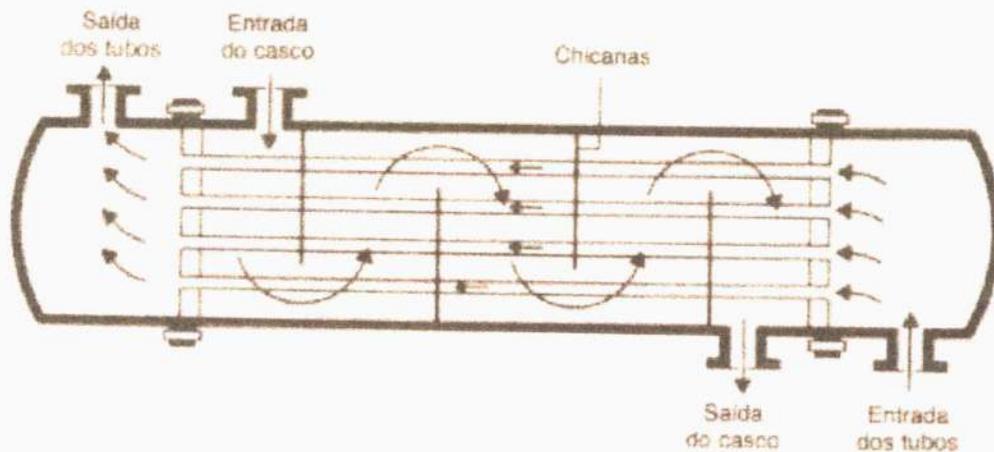
## 10.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO A SUA CONSTRUÇÃO

### 10.3.1 Casca e Tubo

É um trocador de calor constituído por tubos e uma carcaça. Neste trocador um dos fluidos passa por dentro dos tubos que ficam imersos em outro fluido presente na carcaça,

assim como demonstra a figura 19. Existem muitas variações na construção deste trocador, que variam de acordo com o desempenho desejado, pressão, facilidade de limpeza, controle de corrosão, etc.

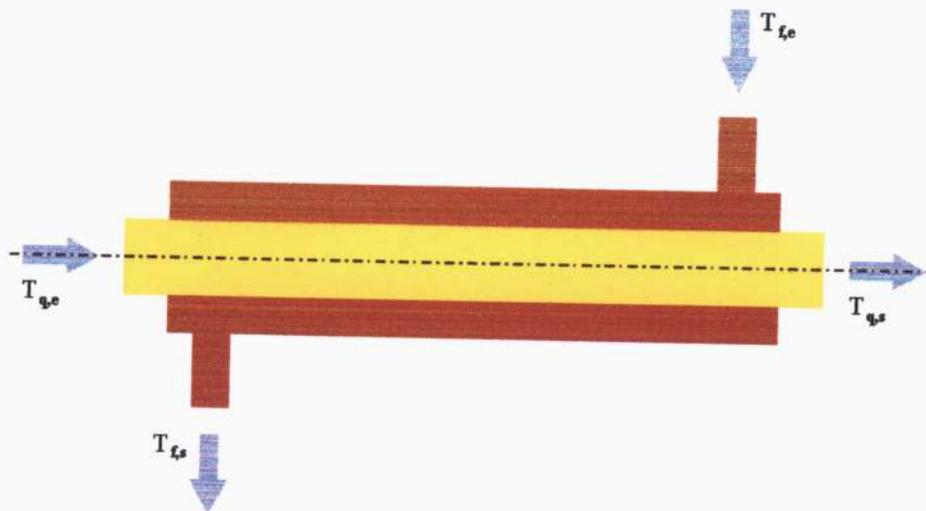
Estes trocadores atendem a diversas situações, logo sendo os mais utilizados, podendo combinar exigências de altas pressões e temperaturas, fluidos viscosos, atmosferas altamente corrosivas, etc.



**Figura 19:** trocador casco e tubo. Fonte: INCROPERA; DEWITT

### 10.3.2 Trocador Tipo Duplo Tubo

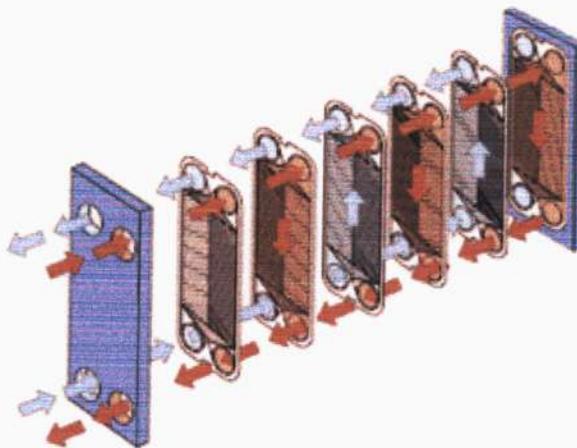
Este trocador possui uma construção bem simples, ele consiste basicamente de dois tubos concêntricos, como ilustra a figura 20. Um dos fluidos escoa pelo tubo interno e o outro pela parte anelar entre os tubos em uma direção contrafluxo. Ele geralmente é utilizado para operações de pouca capacidade.



**Figura 20:** trocador duplo tubo.  
Fonte: [http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a/TrocadoresdeCalor.pdf](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a/TrocadoresdeCalor.pdf)

### 10.3.3 Trocadores Tipo Placas

São trocadores de calor constituídos por placas lisas ou com alguma forma de ondulações, conforme figura 21. Um fato a se considerar nestes trocadores é que eles não suportam altas pressões como os tubulares de mesma capacidade.



**Figura 21:** trocador tipo placas.

Fonte: [http://www.almathi.com.br/trocador%20ts6\\_fm.html](http://www.almathi.com.br/trocador%20ts6_fm.html)

### 10.3.4 Resfriadores a Ar

São trocadores de calor sem casca, constituídos apenas pelas serpentinas, aletadas, por onde passa o fluido a ser resfriado, por um fluxo de ar externo, geralmente por convecção forçada através de exaustores ou ventiladores, sendo este último menos eficiente. A figura 22 mostra um típico resfriador a ar, seguida pela figura 23 que ilustra um fluxo tiragem induzida.

Aletas compõem um recurso utilizado, também chamado de superfícies estendidas, estas têm a função de aumentar a taxa de transferência de calor entre um sólido e um fluido adjacente, (INCROPERA;DEWITT, 1981). Este esquema funciona aumentando a área de transferência de calor; dois tipos de transferência são encontrados, condução da parte interna para a externa e convecção através das aletas. É importante perceber que aumentando a velocidade do fluido pelas aletas, aumenta-se a taxa de transferência por convecção, conceito utilizado pelos resfriadores a ar.

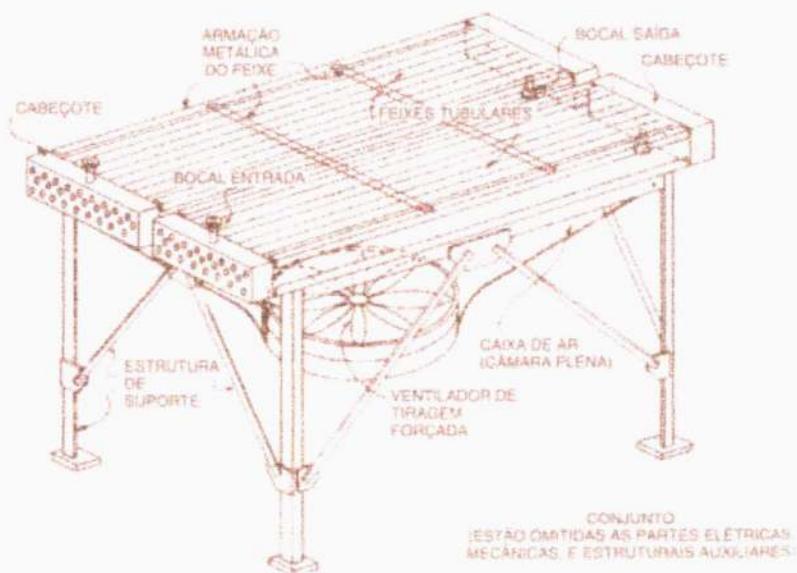
A diferença entre ventilador e exaustor está na maneira como eles conduzem o fluxo de ar. Para o ventilador é chamado de tiragem forçada, um sistema adotado na maioria dos casos onde um ventilador é montado na parte inferior do resfriador e sopra o ar, tem como vantagem o fácil acesso às serpentinas para manutenção e facilidade de montagem. No caso do exaustor é chamado de tiragem induzida, onde o exaustor é montado na parte superior e

tem a grande vantagem de permitir uma melhor distribuição do ar sobre os tubos, tornando menos sujeitos a uma recirculação de ar quente.

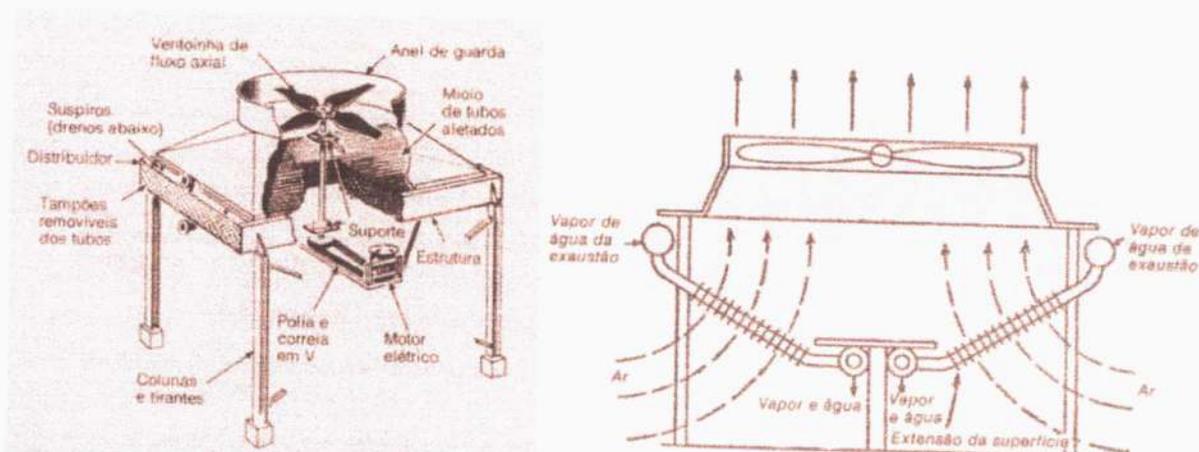
Nos casos em que a temperatura do fluido a ser refrigerado deve ser controlada (ESSEL, on line):

- Contorno ou by-pass do trocador, método também utilizado em trocadores convencionais;
- Variação das pás do ângulo do ventilador, método pouco utilizado devido a complexidade mecânica do sistema;
- Ventilador de velocidade variável, também não muito utilizado, pois os sistemas de variação de velocidade são em geral complexos e diminuem a eficiência energética do sistema;
- Venezianas com inclinação variável das lamínas, é o mais utilizado e permite controle manual ou por meio de sistema remoto.

A principal desvantagem deste tipo de trocador de calor se encontra na necessidade de se resfriar o fluido a uma temperatura inferior a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , principalmente em climas quentes. Apresentam alto investimento inicial, devido a sua estrutura e o ventilador.



**Figura 22:** Resfriador a ar de tiragem forçada.  
Fonte: SILVA TELLES, Vasos de Pressão



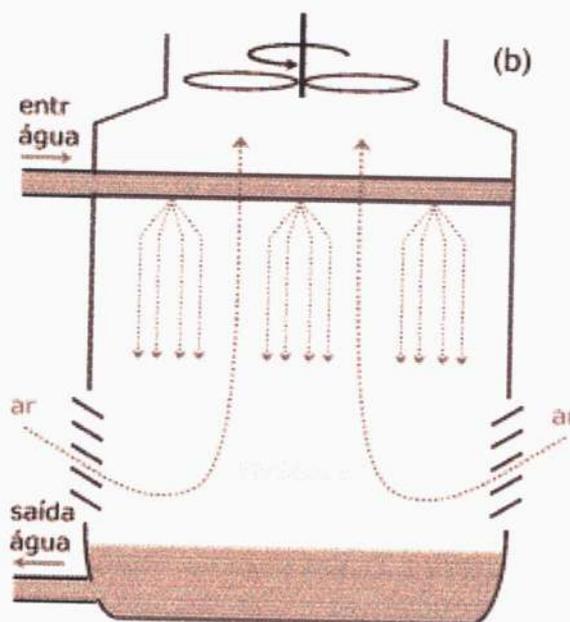
**Figura 23:** Esquema de um resfriador a ar de tiragem induzida.

Fonte: [www.essel.com.br/cursos/material/03/CAP2B.pdf](http://www.essel.com.br/cursos/material/03/CAP2B.pdf)

### 10.3.5 TORRES DE RESFRIAMENTO

São equipamentos destinados à refrigeração de água industrial, como por exemplo, as provenientes de condensadores, de trocadores de calor, etc.

Seu funcionamento se deve ao gotejamento da água aquecida na parte superior da torre que desce lentamente através de bandejas perfuradas, chamadas de colméia, contra um fluxo de ar geralmente na temperatura ambiente, a figura 24 ilustra de forma simples seu funcionamento. Ao ocorrer o encontro da água com o ar, ocorre a evaporação da água, fenômeno que produz seu resfriamento. Em uma torre de resfriamento ocorre troca de calor e massa.



**Figura 24:** Torre de resfriamento.

Fonte: <http://www.mspc.eng.br/>

### 10.3.6 Normas

Assim como todo equipamento mecânico, os trocadores de calor também seguem normas que dizem respeito sobre sua construção, segurança, etc.

A norma TEMA – Tubular Exchangers Manufactures Association, realizou uma padronização da maioria dos modelos destes equipamentos usualmente utilizados nas indústrias.

Outra norma que rege os projetos de vasos de pressão ao quais os trocadores de calor pertencem é a ASME – American Society of Mechanical Engineers. Esta norma assim como outras disponibiliza meios para cálculo de pressões admissíveis, tipo de carregamento, grau de segurança necessário, etc.

## **11 DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR**

No item 10 foram abordadas as três fases do projeto de um trocador de calor, mas para seu dimensionamento somente a análise térmica é necessária, onde será obtida a área de troca de calor necessária. Consultando-se posteriormente um fabricante de trocadores acha-se o trocador adequado à situação. Antes de começar os cálculos, se faz necessário escolher o tipo de trocador de calor mais adequado.

### **11.1 CRITÉRIOS QUANTO AOS BENEFÍCIOS**

Primeiramente deve-se escolher o tipo de trocador de calor, segundo sua construção, para isso alguns critérios devem ser levados em conta. Critérios quanto a custo, perda de carga, dimensão, etc.

Alguns desses critérios foram descritos pela ESSEL, cap. 2b, online e serão exemplificados abaixo nos próximos tópicos.

#### **11.1.1 Desempenho Térmico**

Este critério diz respeito à satisfação do trocador em relação às especificações do processo, do ponto de fluxo de calor requerido, dentro dos limites de temperatura estabelecidos em conjunto com as limitações de perda de carga.

#### **11.1.2 Desempenho Operacional**

Levando em contas as condições de trabalho do trocador selecionado, ele deve suportar diversas condições de operação, principalmente a corrosão, incrustações, tensões e esforços mecânicos.

#### **11.1.3 Manutenção**

A facilidade de manutenção de um equipamento influencia muito em sua escolha. Em um trocador de calor deve-se estar atento para a facilidade de limpeza e facilidade de reposição de peças danificadas.

#### **11.1.4 Flexibilidade Operacional**

O trocador deve permitir operação satisfatória, sem excesso de incrustações, corrosões, excesso de vibração, enfim toda ou qualquer anormalidade operacional e excessiva.

### **11.1.5 Custo**

Custos são um critério muito discutido na hora de se adquirir um equipamento e em se tratando de trocador de calor, seu custo inicial geralmente define sua escolha, mas não deve ser deixado de lado o aspecto operacional, este deve ser o principal fator de escolha.

### **11.1.6 Critérios Adicionais**

Nos critérios adicionais, vamos considerar as dimensões do trocador de calor, dependendo da necessidade ele pode chegar a grandes dimensões, logo se deve ter local disponível para a instalação, mas que também seja de fácil acesso para manutenção.

### **11.1.7 Perda de Carga**

A perda de carga é um fator importante na escolha de um trocador de calor, pois está diretamente ligada à formação de película d'água, esta responsável pelo aumento da taxa de transferência de calor. Isto cria uma relação entre a energia a ser gasta para movimentar o fluido e a vantagem obtida com taxas de transferências maiores.

## **11.2 CRITÉRIOS QUANTO AO TIPO DE TROCADOR**

### **11.2.1 Casca e Tubos**

Trocadores casca e tubo podem ser utilizados nos mais diversos tipos de serviços.

Suas vantagens residem no baixo custo por unidade de área de troca térmica e a grande variedade de tamanhos e tipos disponíveis. Sua principal desvantagem está em sua construção que uma vez pronta é praticamente impossível realizar alterações.

### **11.2.2 Duplo Tubo**

São trocadores aplicados na troca de calor sensível, aquecimento ou resfriamento, onde a área de troca não costuma ultrapassar 20 m<sup>2</sup>.

Suas vantagens estão presentes na facilidade de limpeza e no arranjo da tubulação. Também permitem um bom controle da distribuição de fluidos em ambos os lados. Ao contrário dos trocadores casca e tubo, o duplo tubo apresenta alto custo por unidade de área de troca térmica.

### 11.2.3 De Placas

Devido ao seu tipo de construção, são utilizados em serviços onde corrosão, limpeza e esterilização são fundamentais.

O arranjo das placas permite altos coeficientes de transferência de calor, resistência a depósitos e facilidade de limpeza.

Como comentado antes estes trocadores possuem limitações quanto a pressões, constituindo sua principal desvantagem, assim com alta perda de carga e exigência de capacidades térmicas semelhantes em ambos os lados.

### 11.2.4 Resfriados a Ar

São utilizados em serviços de resfriamento com temperaturas finais entre 35 °C e 40 °C. O fato de possuírem tubos aletados aumenta a área de troca. Obviamente sua principal vantagem está no fato de utilizar ar ao invés de água, o que reduz os problemas de poluição.

A principal desvantagem consiste na necessidade de ventiladores para movimentação do ar.

## 11.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO

### 11.3.1 Coeficiente Global de Troca de Calor

Existe uma série de fórmulas onde se obtém o Coeficiente Global de Troca de Calor (U), mas como a intenção deste projeto é apenas dimensionar um trocador existente, o U será obtido através de tabelas criadas ao longo do tempo.

Vários trocadores foram sendo dimensionados e percebeu-se um padrão no valor de U, sendo assim tabelas foram criadas com valores de U estimados de acordo com o tipo de trocador de calor e os fluidos de processo. A MSPC – Informações Técnicas, online disponibiliza uma tabela com esses valores, que está presente no anexo 1.

O U tem a função de sistematizar as diferentes resistências térmicas equivalentes existentes em um trocador de calor.

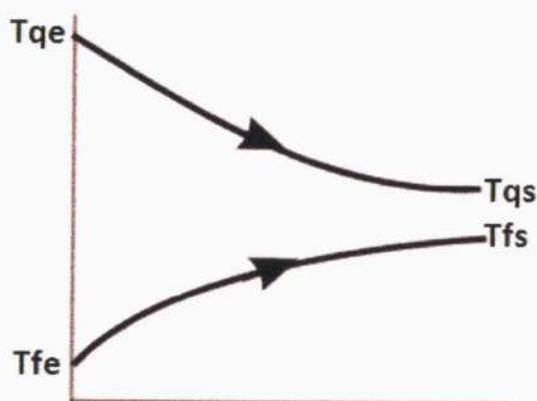
### 11.3.2 Média Logarítmica das Diferenças de Temperaturas

No tópico 10.2 foi evidenciada a existência de tipos de fluxos. Aqui baseado no que o professor Müller afirma, serão abordados os meios para se calcular a Média Logarítmica das Diferenças de Temperaturas (MLDT) ou LMTD (do inglês *Log Mean Temperature*

*Difference*). Para as correntes paralelas e correntes opostas, que os trocadores casca e tubo podem apresentar, conforme as figuras 25 e 26 respectivamente.

O fluido quente entra no trocador a uma temperatura  $T_{qe}$  e sai a uma temperatura  $T_{qs}$ .

O fluido frio entra no trocador a uma temperatura  $T_{fe}$  e sai a uma temperatura  $T_{fs}$ .



**Figura 25:** fluxo de corrente paralela.

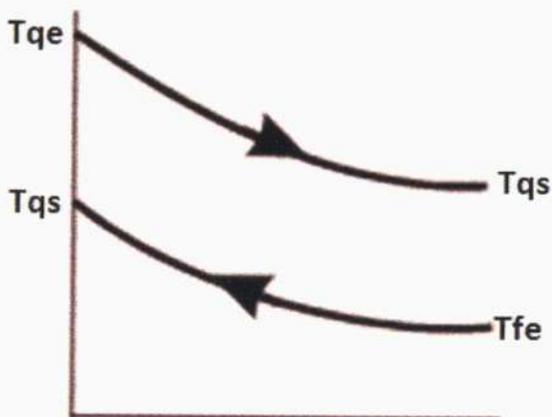
Fonte: Professor Müller, on line, Adaptada.

A figura 25 acima representa o fluxo de corrente paralela, para este tem-se que as diferenças das extremidades serão:

- $(T_{qe} - T_{fe})$ ;
- $(T_{qs} - T_{fs})$ .

Para correntes opostas, de acordo com a figura 26 tem-se que as diferenças das extremidades serão:

- $(T_{qs} - T_{fe})$ ;
- $(T_{qe} - T_{fs})$ .



**Figura 26:** fluxo de correntes opostas.

Fonte: Professor Müller, on line, Adaptada.

Professor Müller, UFS (on line) (20xx) afirma que:

O fluxo de calor transferido entre os fluidos em um trocador é diretamente proporcional à diferença de temperatura média entre os fluidos. No trocador de calor de correntes opostas a diferença de temperatura entre os fluidos não varia tanto, o que acarreta em uma diferença média maior. Como consequência, mantidas as mesmas condições, o trocador de calor trabalhando em correntes opostas é mais eficiente.

Levando-se em conta de a variação de temperatura ao longo do trocador não é linear, é utilizada a Média Logarítmica das Diferenças de Temperatura (MLDT).

### 11.3.3 Cálculo de (LMTD)

Abaixo, analogamente ao INCROPERA;DEWITT (1981), está a fórmula usualmente utilizada para o cálculo de LMTD ou  $\Delta T_{ml}$  de fluxo paralelo.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{entrada} - \Delta T_{saida}}{\ln(\Delta T_{entrada} / \Delta T_{saida})} \quad (1)$$

onde:

- $\Delta T_{entrada} = T_{q,e} - T_{f,e}$
- $\Delta T_{saida} = T_{q,s} - T_{f,s}$

Para o LMTD de fluxos opostos, assim como os de fluxos cruzados, será adotada uma nomenclatura um pouco diferente que facilita a utilização correta das diferenças de temperatura:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{máxima} - \Delta T_{mínima}}{\ln(\Delta T_{máxima} / \Delta T_{mínima})} \quad (1.1)$$

Como pode ser observado na fórmula, a  $\Delta T_{máxima}$  será a maior diferença de temperatura existente entre as extremidades, logo a  $\Delta T_{mínima}$  será a diferença de temperaturas da outra extremidade, uma fácil visualização pode ser obtida pela figura 25.

### 11.3.4 Carga Térmica Requerida

A fórmula da carga térmica apresentada aqui será a necessária para atender a situação observada na INPA, que é o caso da condensação de um vapor, logo a carga térmica total

necessária para atender ao quadro será a carga térmica necessária para condensar a dada vazão de vapor. Abaixo segue a fórmula para calcular a carga térmica de condensação, analogamente a apresentada por INCROPERA; DEWITT (1981).

$$q_{conden} = \dot{m}_v \times h_{fg} \quad (2)$$

Onde:

- $q_{conden}$ , é a carga necessária para se condensar o vapor;
- $\dot{m}_v$ , é a vazão mássica do vapor;
- $h_{fg}$ , é a entalpia de vaporização, a dada temperatura e pressão.

### 11.3.5 Temperatura de Saída do Fluido Frio ( $T_{fs}$ ) ou Vazão Mássica do Fluido Frio ( $\dot{m}_{ff}$ )

A fórmula serve tanto para se achar  $T_{fs}$  quanto a vazão mássica do fluido frio. O uso da fórmula irá depender dos dados que se tem, geralmente se possui a vazão do fluido frio. A fórmula apresentada é uma adaptação para a situação requerida.

$$q_{conden} = \dot{m}_{ff} \times c_{pff} \times (T_{fs} - T_{fe}) \quad (3)$$

Onde:

- $q_{conden}$ , é a carga necessária para se condensar o vapor;
- $\dot{m}_{ff}$ , é a vazão mássica do fluido frio;
- $c_{pff}$ , é o calor específico do fluido frio.

### 11.3.6 Área de Troca de Calor

A área de troca de calor pode ser encontrada através da fórmula, que seria uma extensão da lei de resfriamento de Newton, conforme INCROPERA; DEWITT (id).

$$q = UA\Delta T_{ml} \quad (4)$$

Onde:

- $q$ , é a carga térmica total;
- $U$ , coeficiente global de troca de calor;
- $\Delta T_{ml}$ , Média Logarítmica das Diferenças de Temperaturas.

## 11.4 DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR CASCA E TUBO PARA A INPA

Conforme os requisitos apresentados anteriormente e sendo o tipo de trocador que pode ser utilizado em diversas situações, optou-se pelo trocador de calor casca e tubo, que também representa alto índice de utilização no espaço industrial.

Como citado anteriormente o sistema proposto necessita apenas da condensação do vapor, logo permanece constante durante a mudança de fase.

Dependendo da temperatura de saída do fluido frio, não será necessária a implantação de uma torre de refrigeração para recirculação da água, logo a água de arrefecimento passará pelo trocador e com o calor adquirido, será utilizada nos chuveiros das telas utilizadas no processo de fabricação do papel, dependendo da vazão necessária para condensar o vapor.

### 11.4.1 Carga Térmica Necessária

A vazão mássica de vapor utilizada será a da MP3 e MP4 juntas, pois a idéia é reaproveitar o vapor das duas máquinas. Já a MP2, não será possível, pois como já foi dito no item 7.1, seria necessário a instalação de todo um novo sistema de vapor para a coleta.

O valor da entalpia pode ser obtido nas tabelas termodinâmicas do livro ÇENGEL, Termodinâmica.

Dados:

- $h_{fg} = 2.257,5 \text{ KJ/kg}$ , Çengel pág. 684, tabela A-5
- $\dot{m}_{vt} = \dot{m}_{vMP3} + \dot{m}_{vMP4} = 2.800 + 3.500 = 6.300 \text{ Kg/h}$ .

Pela fórmula 2:

$$q_{conden} = 6.300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 2.257,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$q_{conden} = 14.222.250 \text{ KJ/h}$$

### 11.4.2 Temperatura de Saída do Fluido Frio ( $T_{fs}$ )

Para a situação encontrada é mais fácil apresentar o valor de uma vazão, pois na INPA existe um tanque de 30 m<sup>3</sup> próximo ao local onde poderá ser instalado o trocador de calor, este tanque pode ser alimentado para uma vazão de 30 m<sup>3</sup>/h ou um pouco maior.

Dados:

- $q_{conden} = 14.222.250 \text{ KJ/h}$ ;
- $\dot{m}_{ff} = 30.000 \text{ Kg/h}$ ;
- $c_{pff} = 4,19 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ , Çengel, pág. 680, tabela A-3;

- $T_{fe} = 25^{\circ}\text{C}$ ;
- $T_{fs} = ?$ ;

A fórmula 3 com  $T_{fs}$  evidenciada, fica da seguinte maneira:

$$T_{fs} = \frac{Q_{\text{conden}}}{\dot{m}_{ff} \times C_{pff}} + T_{fe}$$

O valor encontrado será:

$$T_{fs} = \frac{14.222.250 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{30.000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 4,19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}} + 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{fs} \cong 138,14^{\circ}\text{C}$$

Algo inesperado aconteceu, a temperatura de saída do fluido frio é maior do que a temperatura de entrada do fluido quente, logo se constata que essa vazão trás um grande inconveniente, ou seja, a possibilidade de vaporização da água de arrefecimento. Há de se ressaltar que mesmo a uma temperatura tão alta a água permanece no estado líquido, pois está pressurizada devido a ação da bomba do tanque de 30.000 m<sup>3</sup>.

A razão para esta temperatura acima da temperatura de entrada do fluido quente é que o calor a ser trocado é o latente, cuja temperatura é constante a 100°C, na realidade é uma fonte de calor, que transfere calor para a água a ponto de alcançar tal temperatura.

Uma vez que a vazão não é suficiente, pode-se buscar um valor de temperatura desejada e achar uma vazão necessária.

Novos dados:

- $\dot{m}_{ff} = ?$ ;
- $T_{fs} = 75^{\circ}\text{C}$ .

Rearranjando a fórmula tem-se:

$$\dot{m}_{ff} = \frac{Q_{\text{conden}}}{C_{pff} \times (T_{fs} - T_{fe})}$$

O valor da vazão encontrada será:

$$\dot{m}_{ff} = \frac{14.222.250 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{4,19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} (75^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})}$$

$$\dot{m}_{ff} \cong 67.886,63 \text{ Kg/h}$$

Para maior comodidade e até mesmo por uma pequena margem de segurança vamos considerar a vazão requerida como sendo 70.000 Kg/h.

### 11.4.3 Cálculo de $\Delta T_{ml}$

Possuindo todas as temperaturas é possível achar  $\Delta T_{ml}$  através da fórmula 1.1.

Vale lembrar que esta é uma condição especial onde a temperatura do fluido quente permanece constante, como mostra a figura 27.

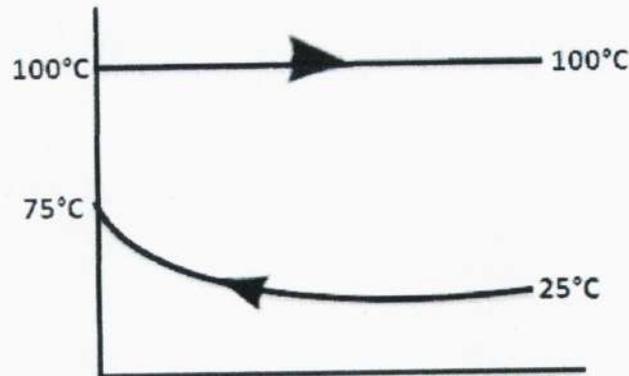


Figura 27: Fluxo de vapor INPA. Fonte: Acervo Pessoal

Logo:

- $\Delta T_{m\acute{a}xima} = 100 - 25$
- $\Delta T_{m\acute{i}nima} = 100 - 75$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(100^{\circ}C - 25^{\circ}C) - (100^{\circ}C - 75^{\circ}C)}{\ln\left(\frac{(100^{\circ}C - 25^{\circ}C)}{(100^{\circ}C - 75^{\circ}C)}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} \cong 45,51^{\circ}C$$

### 11.4.4 Área de Troca de Calor

Para realizar o cálculo da área fica faltando apenas o valor de  $U$  que será considerado  $1.500 \text{ W/m}^2\text{K}$  ou  $^{\circ}C$ , de acordo com a tabela do anexo 1.

Evidenciando a área na fórmula do item 11.3.6, tem-se:

$$A = \frac{q_{conden}}{U \times \Delta T_{ml}}$$

O valor da área encontrada será:

$$A = \frac{14.222.250 \frac{KJ}{h} \times \frac{1h}{3.600s}}{1.500 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \times 45,51^{\circ}C}$$

$$A \cong 57,87 \text{ m}^2$$

Analisando a situação percebe-se que a nova vazão encontrada (aproximadamente 70.000 Kg/h) é praticamente mais do que o dobro do tanque existente na planta industrial da INPA. Observando mais atentamente, essa vazão corresponde a um valor exorbitante de água, não disponível na planta e no caso da utilização da água nos chuveiros iria sobrar água, pois a vazão requerida pelos chuveiros é pequena.

A área de troca encontrada é muito grande, o que representaria um trocador muito grande e para toda essa vazão de água seria necessária a utilização de bombas que consumiriam muita energia elétrica.

Isto torna inviável a seleção de um trocador tipo casca e tubo.

Na busca por outro trocador que pudesse atender ao desafio existente na fábrica, o mais indicado, agora, seria o resfriador a ar, pois sua principal vantagem é o fato de que ele não utiliza água.

### 11.5 DIMENSIONAMENTO DE UM RESFRIADOR DE AR

O dimensionamento de um resfriador a ar é similar ao de um trocador casca e tubo, as diferenças estão no fluido de resfriamento que passa a ser o ar, logo muda o calor específico, as temperaturas de entrada e saída do fluido de resfriamento, o U e conseqüentemente a área de troca será bem maior. Mas a carga térmica requerida será a mesma.

Assim é necessário atentar para a principal desvantagem do resfriador a ar, que é o seu custo inicial. Vislumbrando a alternativa como viável e de rápida implantação foi solicitado às empresas do ramo um orçamento de trocadores deste tipo. O orçamento foi direcionado apenas para o quantitativo de retorno da MP4, em razão do receio de que o custo seria proibitivo.

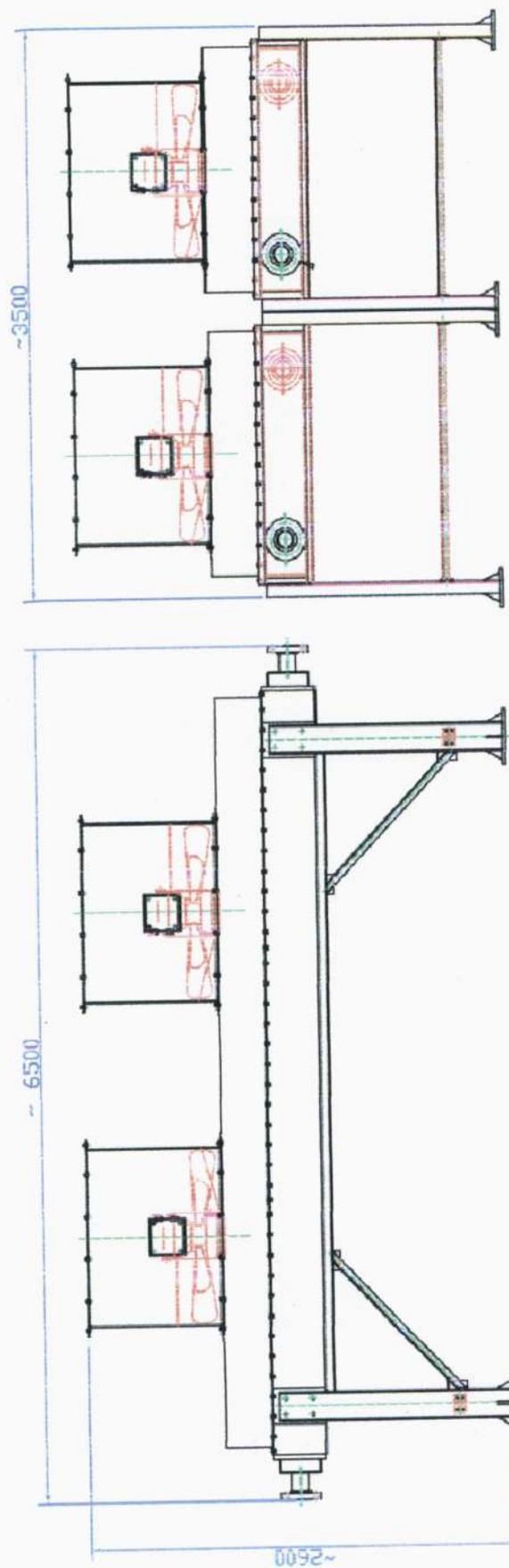
Os dados fornecidos foram os seguintes:

- $T_{qe} = 100^{\circ}\text{C}$ ;
- $T_{qs} = 100^{\circ}\text{C}$ ;
- $T_{fe} = 30^{\circ}\text{C}$ , temperatura do ar ambiente;
- $T_{fs} \cong 60^{\circ}\text{C}$ ;
- $\dot{m}_{vt} = 3500 \text{ Kg/h}$ .

Abaixo seguem a tabela, com os valores do fabricante e o croqui dimensional do resfriador de ar ofertado. A pedido o nome do fabricante não será revelado.

	Lado Interno	Lado Externo
Fluído	VAPOR DE AGUA	AR
Vazão	kg/h 4077,42	350000
Temperatura de Entrada	°C 110,0	30,0
Temperatura de Saída	°C ~90	56,0
Pressão de operação	Kgf/cm <sup>2</sup> 5,00	1,033
Pressão de teste	Kgf/cm <sup>2</sup> 8,00	-
Perda de Carga	kg/cm <sup>2</sup> - mmCA 0,260	17,179
Carga térmica	2.182.618,34 kcal/h	

**Figura 28:** Dados do trocador de acordo com o fabricante. Fonte: Fabricante



**Figura 29:** Croqui dimensional do resfriador a ar ofertado.  
Fonte: Fabricante

Os valores encontrados pelo fabricante podem ser facilmente encontrados, utilizando-se as mesmas fórmulas do item 11.4, trocando-se os valores para:

- $c_{pff} = 1,008 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ ;
- $\dot{m}_{ff} = 350000 \text{ Kg/h}$ ;
- $\dot{m}_v = 4.077,42 \text{ Kg/h}$ ;
- $T_{qe} = 100^\circ\text{C}$ ;
- $T_{qs} = 100^\circ\text{C}$ ;
- $T_{fe} = 30^\circ\text{C}$
- $T_{fs} = 56^\circ\text{C}$ ;
- $U = 850 \text{ W/m}^2\text{C}$ , de acordo com a tabela anexo 1.

Logo se encontra valores bem próximos dos do fabricante, lembrando que o fabricante pode ter alterado alguns valores para que as medições coincidam com as de um trocador existente no mercado. Os valores encontrados são:

$$q_{conden} = 4.077,42 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 2.257,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$q_{conden} = 9.204.775,65 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \text{ ou } 2.198.522,9 \text{ Kcal/h}$$

$$\dot{m}_{ff} = \frac{9.204.775,65 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{1,008 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (56^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}$$

$$\dot{m}_{ff} \cong 351.220,07 \text{ Kg/h}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(110^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) - (100^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{(110^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{(110^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C})}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} \cong 66,15^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{9.204.775,65 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3.600\text{s}}}{850 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} \times 66,15^\circ\text{C}}$$

$$A \cong 45,47 \text{ m}^2$$

Infelizmente o fabricante não informa a área de troca de calor para que seja feita uma comparação. Embora a área de troca de calor tenha dado muito grande é relativamente um

equipamento pequeno, vale lembrar que parte dessa área é compensada pela adição das aletas nos tubos, que aumentam a área de troca de calor.

O valor orçado deste trocador de calor com os ventiladores já instalados é:

***R\$ 215.788,00***

Um trocador semelhante a esse que suportasse a carga da MP3 e MP4 sairia em torno de **R\$ 380.000,00**, com os ventiladores inclusos e teria uma dimensão de 6,5 metros de comprimento por 6,2 metros de largura.

O tempo estimado de retorno deste projeto com sua instalação incluída são de aproximadamente dois anos. Geralmente o tempo esperado de retorno de um projeto de vapor é de 5 anos (BALIVIERA, Gerente Industrial INPA, 2010).

## 12 TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS

SILVA TELLES, Tubulações Industriais (2001 p. 95) “o vapor é um fluido pouco corrosivo, para o qual os diversos materiais podem ser empregados até a sua temperatura limite de resistência mecânica aceitável”. Através da tabela, fornecida por SILVA TELLES, presente no anexo 2 é possível dimensionar o tipo de material da tubulação, válvulas, flanges e juntas para flanges de acordo com as condições existentes. Logo, uma tubulação de aço A120 ou A53 seria mais adequada.

Uma vez que a intenção é de se condensar o vapor, as tubulações não terão isolamento térmico.

O diâmetro da tubulação pode ser encontrado pela tabela do anexo 3, fornecida pela AALBORG, empresa do ramo de caldeiras. Sendo assim é possível encontrar um diâmetro 8” para as tubulações de ambas as máquinas. Provavelmente será necessária reduções para o acoplamento com o equipamento.

Como especificado no desenho, anexo 4, serão necessárias a instalação de válvulas ON-OFF, para que se tenha um controle. Quando necessário abre-se a passagem para a atmosfera e fecha-se a passagem para o trocador, em caso de manutenção.

Uma válvula de retenção deve ser instalada na linha de retorno de condensado para o balão S1 da MP4, para que não haja retorno de vapor pela linha.

### 13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi projetar um meio de reaproveitamento do vapor residual das máquinas de papel MP3 e MP4, aumentando assim a temperatura da água de alimentação da caldeira, economizando-se água tratada e combustível, além de contribuir com o meio ambiente. As informações coletadas e os cálculos realizados nos levaram a sugerir a montagem de um condensador do tipo resfriador a ar para condensar o vapor então jogado para a atmosfera.

Mesmo que o custo do projeto gire em torno de R\$ 400.000,00, em equipamentos, tubulações e mão de obra, mostrou-se um projeto viável, tendo em vista que seu retorno será em aproximadamente 2 anos, uma vez que o retorno esperado para sistemas de vapor é de 5 anos.

Outro fator relevante é que o condensado já é uma água tratada. Logo não haverá necessidade de se adicionar mais produtos químicos na água de alimentação, advindo economia em produtos químicos. A economia de combustível é decorrência da otimização do sistema e a prática irá comprovar a afirmação econômica.

Apresentado ao corpo técnico da empresa o trabalho em questão teve grande aceitação e foi motivo de incentivo para a sua real implantação em curto prazo, ficando bem explícito que o Gerente Industrial, acredita na viabilidade do projeto e acionou os Diretores para a viabilização financeira. Como ainda este projeto não foi implantado, sugestões são aceitas para sua melhoria.

## Referências

- AALBORG-INDUSTRIES. **Tabelas Técnicas**. Disponível em: <http://www.aalborg-industries.com.br/general.php?ix=131>. Acesso em 30/09/2010.
- ALTAFINI, R. C. **Apostila sobre caldeiras**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/apostila-de-caldeiras-pdf-a19922.html>. Acesso em 11/12/2010
- AMALTHI. **Trocadores de Calor**. Disponível em: [http://www.almathi.com.br/trocador%20ts6\\_fmc.html](http://www.almathi.com.br/trocador%20ts6_fmc.html). Acesso em: 08/12/2010
- Apostila Trocadores de Calor. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/trocadores-de-calor-doc-a78923.html>. Acesso em 30/09/2010.
- BBG. **Solutions and Service**. Disponível em: <http://www.bbg.srv.br>. Acesso em: 10/11/2010.
- DAVID P.DEWITT; FRANK P. INCROPERA. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992
- ELETROBRÁS.CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA. **Livro Técnico: Eficiência Energética no Uso do Vapor**. Disponível em: <http://www.eletronbras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID={7476AC13-99FF-406E-B5F6-4DB8CB144F40}>. Acesso em 10/11/2010.
- ESSEL ELETROMECHANICA. **Crerios Na Seleção de um Trocador de Calor**. Disponível em: [www.essel.com.br/cursos/material/03/CAP2B.pdf](http://www.essel.com.br/cursos/material/03/CAP2B.pdf). Acesso em 20/11/2010.
- HINRICHES, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. 3 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Trocador\\_de\\_calor](http://pt.wikipedia.org/wiki/Trocador_de_calor)
- MSPC. **Informações Técnicas**. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0410.shtml>. Acesso em: 05/12/2010
- MÜLLER, JOSÉ MIGUEL. **Apostila de Trocadores de Calor**. Disponível em: [http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes\\_unitarias\\_a/TrocadoresdeCalor.pdf](http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_a/TrocadoresdeCalor.pdf). Acesso em 08/12/2010
- SPIRAX SARCO; Spirax Sarco Indústria e Comércio Ltda. **Apostila de Projetos de Sistema Vapor**. 2005. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/recuperacao-de-condensado-pdf-a76459.html>. Acesso em: 25/10/2010
- SPIRAX SARCO; Spirax Sarco Indústria e Comércio Ltda. **Apostila Drenagem de Condensado**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/drenagem-de-condensado-pdf-a76456.html>. Acesso em 25/10/2010.
- SPIRAX SARCO; Spirax Sarco Indústria e Comércio Ltda. **Apostila Recuperação de Condensado e Vapor Flash**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/recuperacao-de-condensado-pdf-a76459.html>. Acesso em 25/10/2010

TELLES, PEDRO CARLOS DA SILVA. **Tubulações Industriais; Materiais, Projeto, Montagem**. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TELLES, PEDRO CARLOS DA SILVA. **Vasos de Pressão**. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

YUNNUS A. ÇENGEL; MICHEL A. BOLES. **Termodinâmica**. 5 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

## ANEXO 1 TABELA DE COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA DE CALOR

Tipo	Finalidade e/ou observações	Fluido 1	Fluido 2	U em W / (m <sup>2</sup> K)
Casca e tubo	Aquecedores	Óleos térmicos	Gases em geral	20 - 200
		Óleos térmicos	Óleos pesados	50 - 300
"	"	Gases de combustão	Hidrocarbonetos	30 - 100
"	"	Gases de combustão	Vapor	30 - 100
"	"	Vapor	Água	1500 - 4000
"	"	Vapor	Gases em geral	30 - 300
"	"	Vapor	Óleos leves	300 - 900
"	"	Vapor	Óleos pesados	60 - 450
"	"	Vapor	Solventes orgânicos	500 - 1000
Casca e tubo	Condensadores (fluido 1 no tubo)	Amônia	Água	300 - 1200
		Álcool	Água	250 - 700
		Refrigerante R12	Água	300 - 850
		Vapor d'água	Água	1000 - 1500
		Vapores de solventes orgânicos	Água	700 - 1000
		Vapores de hidrocarbonetos	Água	400 - 550
		Vapores sob vácuo	Água	200 - 500
Casca e tubo	Evaporadores	Vapor	Compostos orgânicos leves	900 - 1200
		Vapor	Compostos orgânicos pesados	600 - 900
		Vapor	Soluções aquosas	1000 - 1500
		Óleo térmico	Hidrocarbonetos	250 - 550
		Água	Água	800 - 1500
Casca e tubo	Genérica	Gases a 1 bar	Gases a 1 bar	mai/35
		Gases a 200 bar	Gases a 200 bar	100 - 300
		Óleos leves	Óleos leves	100 - 400
		Óleos pesados	Óleos pesados	50 - 300
		Solventes orgânicos	Solventes orgânicos	100 - 300
		Água	Água	mai/35
Casca e tubo	Resfriadores	Gases a 1 bar	Água	150 - 400
		Gases a 200 bar	Água	20 - 300
		Gases em geral	Água	350 - 700
		Óleos leves	Água	

"	"	Óleos pesados	Água	60 - 300
"	"	Solventes orgânicos	Água	250 - 750
"	"	Água	Salmoura	600 - 1200
"	"	Gases em geral	Salmoura	15 - 250
"	"	Solventes orgânicos	Salmoura	150 - 500
<b>Camisa de tanque</b>	<b>Fluido 1 na camisa</b>	Água	Compostos orgânicos leves	200 - 300
"	"	Água	Soluções aquosas	200 - 500
"	"	Vapor	Compostos orgânicos leves	250 - 500
"	"	Vapor	Soluções aquosas	500 - 700
<b>Serpentina submersa</b>	<b>Com agitação (fluido 1 no tubo)</b>	Óleos leves	Água	200 - 300
"	"	Soluções aquosas	Água	400 - 700
"	"	Vapor	Óleos leves	300 - 500
"	"	Vapor	Óleos pesados	200 - 400
"	"	Vapor	Soluções aquosas	800 - 1500
<b>Serpentina submersa</b>	<b>Sem agitação (fluido 1 no tubo)</b>	Óleos leves	Água	100 - 150
"	"	Soluções aquosas	Água	200 - 500
"	"	Vapor	Óleos leves	200 - 300
"	"	Vapor	Óleos pesados	70 - 150
"	"	Vapor	Soluções aquosas	500 - 1000
<b>Trocador a ar</b>	<b>Fluido 1 no tubo</b>	Água	Ar	300 - 450
"	"	Compostos orgânicos leves	Ar	300 - 700
"	"	Compostos orgânicos pesados	Ar	50 - 150
"	"	Hidrocarbonetos em condensação	Ar	300 - 600
"	"	Gases de combustão	Ar	60 - 180
"	"	Gases em geral	Ar	50 - 300
"	"	Vapor a baixa pressão	Ar	700 - 850
"	"	Vapores orgânicos	Ar	350 - 500

## ANEXO 2 MATERIAIS PARA TUBULAÇÃO DE VAPOR

Materiais para tubulações para vapor										
VÁLVULAS										
Temperatura máxima do vapor (°C)	TUBOS				Material			Tipo de extremidades	Flanges	Juntas para flanges
	Diâmetro nominal (pol)	Material Especificações ASTM ou API	Tipo de ligações	Margem para corrosão (mm)	Diâmetro nominal (pol)	Carroça	Mec. interno			
120 (inclusive vapor exausto e condensado)	todos	Aço-carbono A120 ou A53	solda	1,2	até 1 1/2"	Bronze	Bronze	Rosca	Aço-carbono, face plana	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212
	até 4"	Aço-carbono galvanizado	rosca	—	2" ou maior	Ferro fundido	Bronze	Flanges (face plana)	Aço-carbono, face de ressalto	
200	todos	Aço-carbono A53 ou API5L	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Bronze	até 1 1/2": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face com ressalto) rosca	Aço-carbono, face de ressalto	Junta semimetálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto
	até 2"	Latão, cobre, alumínio	rosca ou solda	—	até 2"	Bronze	Bronze			
380	todos	Aço-carbono A53 API5L ou A672 Gr A55	solda	1,2	todos	Aço-carbono		até 1 1/2": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face com ressalto)	Aço-liga 1/2 Mo, face de ressalto.	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600 #, ou acima)
420	todos	Aço-carbono acalmado (S)-A106 ou A672 Gr B60, 70 ou Gr C60, 70	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/2 Mo	Aço-inoxidável tipo 410 (sedes de "Stellite")			
450	todos	Aço-liga 1/2 Mo A335 Gr. P1 ou A672 Gr CM65, 70	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo		até 1 1/2": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face para junta de anel) ou solda de topo	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo, face para junta de anel	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600 #, ou acima)
	470	todos	Aço-liga 1/4 Cr-1/2 Mo A335 Gr-P1 ou A691 Gr 1/4 Cr	solda	1,2	todos	Aço inoxidável tipo 440 (sedes de "Stellite")			
480	todos	Aço inoxidável tipo 304	solda	—	todos	Aço inoxidável tipo 304		solda de topo	Evitar o uso de flanges	—
550	todos	Aço inoxidável tipo 304	solda	—	todos	Aço inoxidável tipo 304		solda de topo	Evitar o uso de flanges	—

# ANEXO 3 CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE VAPOR EM KG/H

CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE VAPOR EM KG/H,  
VELOCIDADE NA TUBULAÇÃO = 30 m/s

Steam Conduction Capacity

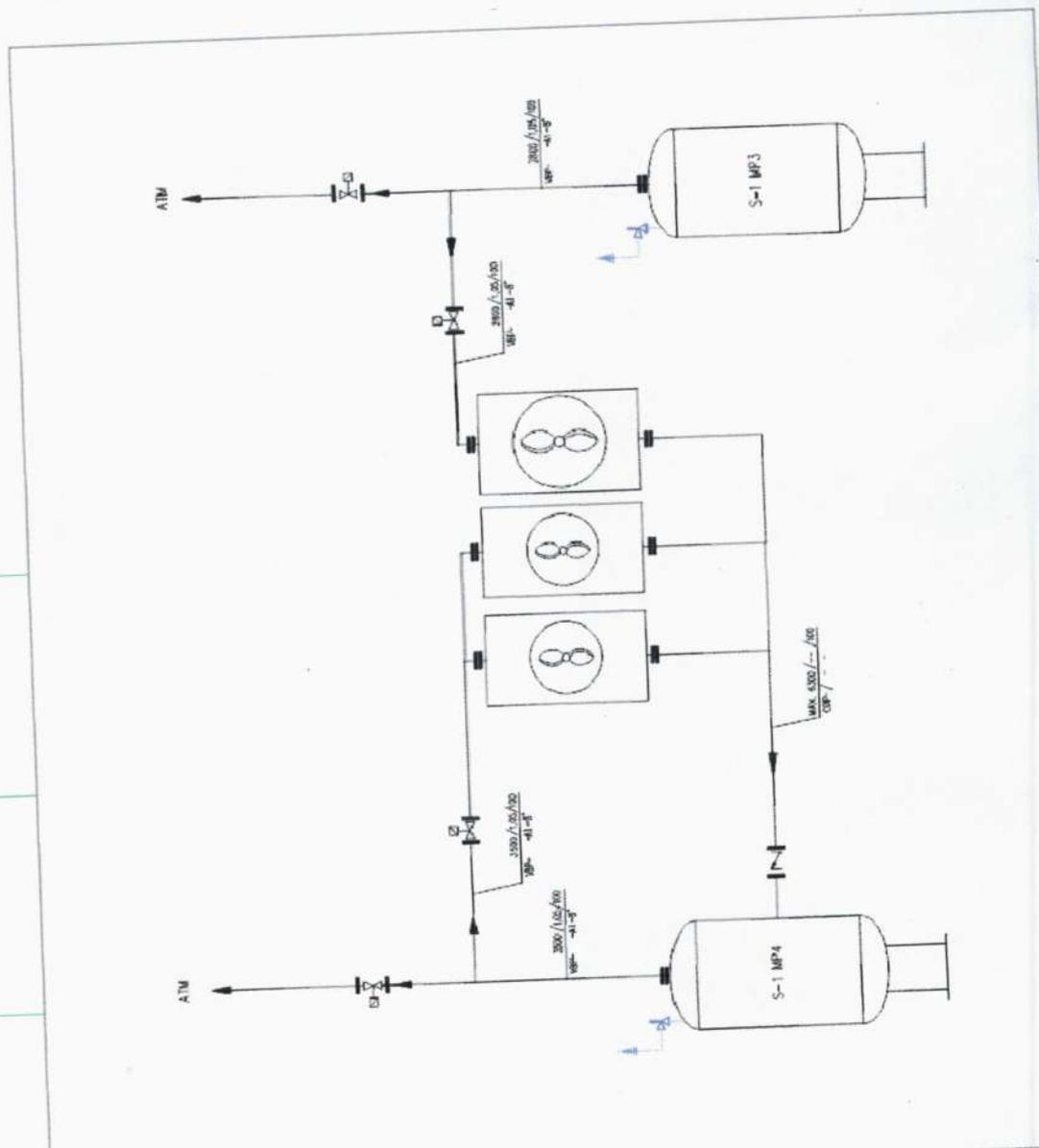
PRESSÃO MANOMÉTRICA		DIÂMETRO NA TUBULAÇÃO DE VAPOR													
psig	kgf/cm <sup>2</sup>	1/2"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"
0	0	13	22	36	63	85	140	308	531	835	1206	2086	3289	4668	5643
5	0,352	17	29	47	82	112	184	405	699	1098	1586	2744	4326	6139	7421
10	0,703	20	36	59	102	138	227	501	864	1356	1960	3391	5346	7586	9171
15	1,05	24	43	70	121	164	270	595	1026	1612	2329	4030	6353	9015	10898
20	1,41	28	50	81	140	190	313	689	1187	1865	2695	4662	7349	10430	12608
25	1,76	32	57	91	159	215	355	781	1347	2116	3057	5289	8338	11833	14304
30	2,11	36	63	102	177	241	397	873	1506	2365	3417	5912	9319	13225	15987
35	2,46	39	70	113	196	266	438	964	1663	2612	3774	6530	10294	14609	17660
40	2,81	43	76	123	214	291	479	1055	1820	2858	4130	7145	11264	15985	19324
45	3,16	47	83	134	233	316	520	1146	1976	3103	4484	7758	12229	17355	20979
50	3,52	51	89	145	251	341	561	1236	2131	3347	4836	8367	13190	18719	22628
55	3,87	54	96	155	269	365	602	1326	2286	3590	5187	8975	14148	20078	24271
60	4,22	58	102	165	287	390	643	1415	2440	3832	5537	9580	15102	21432	25908
65	4,57	62	109	176	305	415	683	1504	2594	4074	5886	10184	16054	22782	27540
70	4,92	65	115	186	323	439	724	1593	2747	4314	6234	10786	17002	24129	29168
75	5,27	69	122	197	341	464	764	1682	2900	4554	6581	11386	17949	25472	30792
80	5,62	72	128	207	359	488	804	1770	3053	4794	6927	11985	18893	26812	32412
85	5,98	76	135	217	377	512	844	1858	3205	5033	7272	12583	19836	28150	34029
90	6,33	80	141	228	395	537	884	1947	3357	5272	7617	13180	20777	29485	35643
95	6,68	83	147	238	413	561	924	2035	3509	5510	7962	13776	21716	30818	37255
100	7,03	87	154	248	431	585	964	2122	3660	5748	8306	14371	22654	32149	38864
110	7,73	94	166	269	467	633	1044	2298	3963	6223	8992	15558	24526	34806	42076
120	8,44	101	179	289	502	682	1123	2473	4265	6697	9677	16743	26394	37457	45280
130	9,14	108	192	310	538	730	1203	2648	4566	7171	10361	17926	28259	40103	48479
140	9,84	116	204	330	573	778	1282	2822	4867	7643	11043	19107	30121	42746	51674
150	10,5	123	217	350	608	826	1361	2996	5167	8115	11725	20287	31981	45386	54865
160	11,2	130	230	371	644	874	1440	3170	5468	8587	12407	21466	33839	48023	58053
170	12,0	137	242	391	679	922	1519	3344	5768	9058	13088	22644	35697	50659	61239
180	12,7	144	255	411	714	970	1598	3518	6068	9529	13768	23822	37554	53294	64424
190	13,4	151	267	432	750	1018	1677	3692	6368	10000	14449	25000	39410	55928	67609
200	14,1	158	280	452	785	1066	1756	3866	6668	10471	15130	26177	41266	58563	70794
250	17,6	194	343	554	962	1306	2151	4737	8169	12829	18536	32071	50557	71748	86733
300	21,1	230	406	656	1139	1547	2548	5611	9676	15195	21955	37987	59883	84983	102732
350	24,6	266	470	759	1317	1789	2947	6489	11191	17575	25394	43937	69263	98294	118824
400	28,1	302	534	862	1497	2033	3350	7375	12718	19973	28858	49932	78712	111704	135034
450	31,6	338	599	967	1678	2279	3755	8268	14258	22391	32353	55977	89243	125229	151383
500	35,2	375	664	1072	1861	2528	4165	9169	15812	24833	35880	62081	97864	138883	167889

$$Q = 84.960 \times Y \times d^2$$

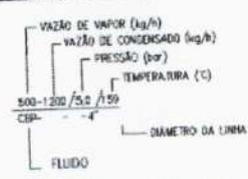
Q = Vazão de vapor (kg/h)

Y = Peso específico do vapor (kg/m<sup>3</sup>)  
d = Diâmetro interno da tubulação (m)

# ANEXO 4 FLUXOGRAMA REAPROVEITAMENTO DO VAPOR



**IDENTIFICAÇÃO DE LINHAS**



**CÓDIGO DOS FLUIDOS**

- AMR = ÁGUA MORNIA RETORNO
- CBP = CONDENSADO BAIXA PRESSÃO
- CAP = CONDENSADO ALTA PRESSÃO
- CMP = CONDENSADO MÈDIA PRESSÃO
- VAC = VACUO
- VSP = VAPOR BAIXA PRESSÃO
- VMP = VAPOR MÈDIA PRESSÃO

**LEGENDA**

- VALVULA DE RETENÇÃO "DISCO"
- VALVULA SOLENÓIDE
- VALVULA ANGULAR DE SEGURANÇA

— NÃO FAZ PARTE DO PROJETO

2010	Nome:	Data:
Projeto:	RODOLFO	10/12/10
Desenho:	RODOLFO	10/12/10
Examin.:	RODOLFO	10/12/10
Aprov.:	RODOLFO	10/12/10
Liberado:	RODOLFO	10/12/10
Escala:		
S/E		

Título: **FLUXOGRAMA REAPROVEITAMENTO DO VAPOR MP3 E MP4**

Revisão:	Data:
xxx	00/00/0000

**ANEXO 5 AUTORIZAÇÃO**  
**SOCIEDADE UNIVERSITÁRIA REDENTOR**  
**Curso de Graduação em Engenharia Mecânica**  
**AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA DE PROJETO FINAL**

Ofício 001/2010

Itaperuna, 14 de Dezembro de 2010

Ao Sr. Diretor

Eu, estudante do 10º período do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor, gostaria utilizar o nome da empresa em meu projeto final da Disciplina trabalho de conclusão de curso (TCC). Este terá fins de observação e coleta de dados e posterior sugestão, visando o reaproveitamento energético do vapor.

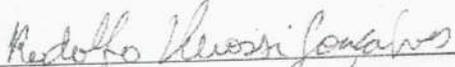
Esclareço que esta pesquisa somente é para fins do projeto final (TCC), por isso peço permissão para usar o nome da empresa, INPA, em meu projeto.

O projeto tem como tema "Reaproveitamento Energético do Vapor", e será proposto a implantação de um trocador de calor para reaproveitamento do vapor descartado para a atmosfera das máquinas 3 e 4, da Sede, situada na Rua: INPA, nº186, Bairro: Centro, no município de Pirapetinga - MG.

Será realizada sob responsabilidade do Professor Orientador Glênio Fernando Daniel.

Agradeço o apoio de V.Sª. colocando-me a disposição para outros esclarecimentos.

Atenciosamente:

  
**Aluno: Rodolfo Derossi Gonçalves**

  
Prof. Glênio Fernando Daniel  
Orientador