

Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC

Por: Álvaro Jorge Vicente Braga Ferraz – nº 080504015 (Licenciado em Eng.ª Mecânica Ramo Energia)

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM - Energia Térmica

Coordenador/Orientador: Professor José Luís Alexandre



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Junho de 2009

Agradecimentos

O autor exprime os seus mais sinceros agradecimentos ao Professor José Luís Alexandre, coordenador da dissertação, pela sua importante orientação, apoio e por ter proporcionado a oportunidade de realizar esta exposição, oferecendo uma grande liberdade por um lado, e por outro, imprimindo-lhe um especial rigor científico, sem o qual, esta dissertação não seria com certeza uma realidade.

Desejo expressar a minha gratidão aos meus colegas da Faculdade, do curso de Engenharia Mecânica, ramo energia térmica, do ano lectivo 2008-2009, pelo apoio, incentivo e camaradagem que foram demonstrando ao longo do ano, particularmente ao Eng.º Gonçalo.

À minha namorada Irene Vilela, que esteve sempre presente no meu dia-a-dia vivendo de perto os momentos altos e baixos deste trabalho, transmitindo-me sempre o sentimento adequado em cada momento e disponibilizando toda a sua ajuda, pelos “tu consegues” nos momentos menos bons e os “consegues ainda melhor” quando o trabalho prometia.

Resumo

Esta Tese assenta no trabalho de pesquisa científica de artigos e de dissertações existentes na biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto [6], e de outros estudos e artigos publicados e desenvolvidos no campo energético de manutenção de sistemas AVAC.

Assim, e no sentido de aproximação ao que é desenvolvido comparativamente ao nosso caso de estudo, reuniram-se os elementos imprescindíveis aos sistemas de climatização tudo ar, com funcionamento a volume de ar constante, existente em unidades de tratamento de ar (UTA/UTAN), actuando, desenvolvendo e pesquisando as suas falhas, causas e efeitos em relação aos seus componentes constituintes e que podem ter elevadas repercussões em perdas energéticas ao longo do seu ciclo de vida útil.

Das diversas análises efectuadas, e dos trabalhos desenvolvidos, podemos chegar às conclusões que se especificam no capítulo VI:

- Perceber a degradação dos componentes ao longo do tempo de operação, bem como os diversos tipos de manutenção implícitos a efectuar, a sua cadência e o que pode ser feito para preservar o máximo desempenho e eficiência;
- Compreender o agravamento do consumo de energia associado à degradação de alguns componentes críticos previamente identificados e a sua influência nos gastos energéticos e no índice de eficiência energética de um edifício.

O Caso de estudo quantifica a perda de eficiência verificada aquando do aumento de incrustações e sujidades, no interior e exterior de baterias de permutadores. Originadas por estas impurezas, surge a perda de carga ocasionada à passagem do fluído no seu interior e a perda de transferência de calor.

O trabalho desenvolvido permite concluir a elevada importância dos planos de controlo de manutenção, garantindo assim, a preservação da eficiência do conjunto equipamento/edifício, aquando da actuação atempada no campo da concepção, projecto, exploração, manutenção e controlo. Realça-se, assim, a importância da manutenção na fase de comissionamento, acompanhamento e melhoramento dos sistemas de AVAC e da própria manutenção.

Abstract

This thesis has been supported by scientific research work in articles and dissertations of others at the library of Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, as well as other articles and dissertations published and developed within the energetic field of systems maintenance HVAC.

Thus, to approach what has been developed towards our case study, essential systems to climate air have been gathered, working at a permanent constant air volume in treatment air handling units (AHU's), developing and looking for failures, causes and effects in relation to its constituent components, which can have immeasurable repercussions on energy losses over its life time.

Taking, as the starting point, the different analyses made and the developed work, we can come to the conclusions specified in chapter six:

- We can understand the degradation of the components during the operation time, the different types of implied maintenance to be performed, their implicit frequency as well as what can be done to preserve the maximum performance and efficiency.
- We can also comprehend the energy consumption associated with the degradation of some critical components previously identified, we understand its influence on energetic wastes and on the level of energetic efficiency of a building.

The case study quantifies the loss of efficiency related to the existence of fouling and dirt depositions inside and outside batteries of heat exchangers, the obstruction originated by crossing the inside fluid, pressure loss, loss of heat transfer.

The developed work allows us to conclude the high importance of controlling plans in maintenance, ensuring thus the preservation of efficiency in the entire HVAC/ building, equipment when action takes place in time within the conception field, project, exploration, maintenance and control. For these reason, we enhance the importance of maintenance at the stage of commissioning, attendance and improvement of HVAC's systems and maintenance itself.

Palavras – Chave

1. AVAC.
2. UTA's e seus componentes.
3. Manutenção AVAC.
4. Consumos energéticos de sistemas AVAC.
5. Incrustações e perda energia em AVAC.

Key – Words

1. HVAC.
2. AHU's and their components.
3. HVAC Maintenance.
4. Energy consumption of HVAC systems.
5. Fouling and energy loss in HVAC.

Índice Geral

Agradecimentos	III
Resumo	V
Abstract.....	VII
Palavras – Chave	IX
Key – Words.....	XI
Índice Geral	XIII
Índice de figuras	XVI
Índice de tabelas	XVIII
Nomenclatura.....	XIX
CAPÍTULO I – Introdução e enquadramento	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objectivos.....	6
1.3 Estado da Arte.....	6
1.4 Organização da dissertação.....	7
CAPÍTULO II – Manutenção nos sistemas AVAC.....	9
2.1 Aspectos gerais	9
2.2 Evolução Histórica: Manutenção Industrial versus AVAC.....	9
2.2.1 Evolução da Manutenção Industrial	11
2.3 Importância da manutenção, medidores e indicadores.....	13
2.4 Técnicas de Manutenção (RCM, TPM e RAM).....	14
2.4.1 RCM - Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	14
2.4.1.1 Fiabilidade	15
2.4.1.2 Manutibilidade	18
2.4.1.3 Disponibilidade.....	18
2.4.2 TPM – Manutenção Produtiva Total.....	19
2.4.3 RAM, gestão da Manutenção	20
2.5 Tipos de intervenção da manutenção	23
2.5.1 Manutenção planeada e manutenção não planeada.....	23
2.5.2 Manutenção curativa ou paliativa e manutenção de melhoria.....	24

2.5.3	Manutenção preventiva sistemática.....	24
2.5.4	Manutenção preventiva condicionada.....	25
2.6	Manutenção aplicada ao sistema AVAC no âmbito do SCE.....	25
2.6.1	Técnicos responsáveis.....	25
2.6.2	Concepção do Plano de Manutenção Preventiva.....	27
2.6.3	Acções da manutenção e inspecções nos sistemas AVAC.....	28
CAPITULO III – Efeitos da manutenção nas UTA’s e UTAN’s.....		31
3.1	UTA’s e UTAN’s.....	31
3.2	Principais componentes das UTA’s e UTAN’s.....	32
3.3	A manutenção nas UTA’s e UTAN’s.....	35
3.4	Metodologia desenvolvida [6] e objecto de análise.....	37
CAPITULO IV – Metodologia de avaliação do efeito das incrustações nos permutadores de calor das UTA’S.....		42
4.1	Incrustações.....	42
4.2	Circuito hidráulico.....	51
a)	Limpeza dos permutadores (ver anexos).....	54
b)	Substituição de Bombas.....	55
CAPITULO V – Análise de caso prático relativo ao impacto da manutenção na eficiência global das UTA’s.....		56
5.1	Aplicação da metodologia.....	56
5.2	Exemplo de aplicação e de medição da variação do Índice de Eficiência Energética devido aos gastos energéticos provocados pela bomba circuladora.....	59
CAPITULO VI – Conclusão.....		69
Referências Bibliográficas.....		71
Legislação.....		73
ANEXOS.....		74
Estudo Químico, detalhe de Incrustações.....		74
Limpeza dos permutadores [39].....		74
Águas de refrigeração [39].....		74
Uso de inibidores de corrosão.....		76
Tipos de depósitos geralmente encontrados em sistemas de água.....		76

Índice de Langelier.....	77
Inibidores de incrustação.....	78
Inibidores de incrustação / Floculantes	78
Inibidores de incrustação / Dispersantes	78
Inibidores de incrustação / Quelatos	79
Inibidores de incrustação / Fosfonatos	79
Fungos, algas e bactérias.....	79
Conjunto de expressões utilizadas nos diversos capítulos.....	82
Tabelas de propriedades físicas da matéria (A4 e A6)	86
Tabelas utilizadas para o cálculo do conjunto de perdas energéticas existentes nos vários componentes.	91

Índice de figuras

Fig. 1 – Consumos energéticos de um edifício modelo [32].....	1
Fig. 2 – Totalidade de gases emitidos na EU em 2006 (Protocolo de Kyoto) [3].....	2
Fig. 3 – Desenvolvimento das reservas energéticas primárias [3]	3
Fig. 4 – Evolução dos preços da energia para consumo doméstico [3].....	3
Fig. 5 – Política de desenvolvimento energético para a EU [3]	4
Fig. 6 – Trilogia energética em AVAC [32].....	5
Fig. 7 – Quadro resumo sobre a evolução da manutenção Industrial [31]	11
Fig. 8 – A importância crescente da Manutenção [33].....	14
Fig. 9 – Curva de banheira (Comparação equipamento electrónico e mecânico) [34]	16
Fig. 10 – Estágios da vida útil de um equipamento [31]	17
Fig. 11 – Base metodológica da manutenção RAM (<i>Reliability, Availability, Manutentability</i>) [35]	21
Fig. 12 – Diagrama dos tipos de intervenção da manutenção [34]	23
Fig. 13 – Processo de funcionamento do sector manutenção OT correctivo [31].....	24
Fig. 14 – Técnicos responsáveis pela manutenção [36]	26
Fig. 15 - UTA duplo fluxo, localização de sensores e componentes [36].....	31
Fig. 16 – Identificação dos componentes típicos existentes em UTA's [36]	32
Fig. 17 e Tabela 2 – Escolha do grupo de filtragem [36]	33
Fig. 18 – Ventiladores de acoplamento por correia (figura da esquerda); e ventiladores Plug-fun (figura da direita) – maior economia menor geração de partículas [36].....	34
Fig. 19 – Recuperador de calor [36]	34
Fig. 20 – Exemplo de permutador de calor [36].....	34
Fig. 21 – Imagens do interior de UTA's, condutas e bateria/permutador [36].....	36
Fig. 22 – Pássaros encontrados dentro de uma conduta de climatização e filtros totalmente colmatados [36]	36
Fig. 23 – Limpeza com robot e janelas de visita em condutas [36]	37
Fig. 24 – Caso de estudo [36].....	42
Fig. 25 e Fig. 26 Incrustações, exteriores e interiores de tubagens de um permutador [40]. ...	44
Fig. 27 e Fig. 28 – Incrustações em permutadores e caldeiras [40].	44
Fig. 29 Corte longitudinal da tubagem de cobre [8].....	45
Fig. 30 – Relação caudal, velocidade e diâmetro de uma tubagem.....	51

Fig. 31 – Bombas circuladoras e curvas de tecnologia existente [9].....	55
Fig. 32 e Fig. 33 – Perfis de densidade do edifício [4].....	61
Fig. 34, Fig. 35 e Fig. 36 – Tabelas de perfis de utilização do edifício [4].....	62
Fig. 37, Fig. 38 e Fig. 39 – Gráfico de perfis de utilização do edifício [4].....	63
Fig. 40 – Refrigeração água não recirculada [39] e [40].....	75
Fig. 41 – Refrigeração com água de recirculação [39] e [40]	75

Índice de tabelas

Tabela 1 – Lista de componentes típicos existentes em UTA's	32
Fig. 17 e Tabela 2 – Escolha do grupo de filtragem [36]	33
Tabela 3 - Ambientes e valores de aumento de espessuras (e) e de incrustação [40].	48
Tabela 4 – Coeficiente de condutibilidade térmica (λ) de incrustações típicas [37], [38], [39]	49
Tabela 5- Tabela de valores de gastos energéticos com bomba circuladora, primeiro ano (468w).....	63
Tabela 6 – Consumo de potência anual do edifício, segundo perfis de utilização.	64
Tabela 7 – Valores para equipamento em kWh/m ² .ano	64
Tabela 8 – Factores de conversão para energia primária.....	64
Tabela 9 – Valores de IEE de Ref ^a e S regulamentares [4].	65
Tabela 10 – (Esq.) Correção equipamentos eficiências de climatização; (Dir.) Correção geográfica do edifício	65
Tabela 11 – Dados atribuídos de arrefecimento, aquecimento e ventilação para o edifício. [4]	66
Tabela 12 – Tabela de cálculo do Índice de Eficiência Energética para classificação do edifício [36]	66
Tabela 13 – Classificação energética do edifício para os gastos de 468 W no equipamento... ..	67
Tabela 14 – Classificação energética para consumo da bomba de 476 W	67
Tabela 15 – Classificação energética para consumo da bomba de 613 W	67
Tabela 16 – Análise evolução temporal da classificação da eficiência energética do edifício, resumo. [36].....	68
Tabela 17 – Tabela resumo de valores iniciais de parametrização.....	82
Tabela 18 – Resumo de expressões matemáticas utilizadas no cálculo da transferência de calor [8].	84
Tabela 19 - Resumo de expressões matemáticas utilizadas no cálculo da potência dispendida no circuito hidráulico [8].	84
Tabela 20 – Expressões matemáticas utilizadas para cálculo do índice de eficiência energética [4]	85

Nomenclatura

η_m	Rendimento motor, [%]
η_b	Rendimento bomba, [%]
E.....	Eficiência, [%]
p.....	Pressão, [Pa]
A.....	Área, [m ²]
g.....	Aceleração normal da gravidade 9,80665[m/s ²]
h.....	Altitude, [m]
m.....	Massa, [kg]
\dot{m}	Caudal mássico, [kg/s]
M.....	Massa molar, [kg/mol]
n.....	Velocidade de rotação, [rpm]
p.....	Pressão total do ar, [Pa]
Q.....	Caudal volúmico, [m ³ /h]
R.....	Constante específica do gás, [J/(kg.K)]
Ru.....	Constante do gás universal, 8.314472 [J/(mol.K)]
H.....	Humidade relativa do ar, [%]
t.....	Tempo, [s]
T.....	Temperatura, [K, °C]
V.....	Volume, [m ³]
P.....	Potência, [W]
h.....	Coefficiente de transferência de calor, [kW/m ² °K]
h_m	Coefficiente de transferência de massa, [kW/m ² s]
U.....	Coefficiente Global de transferência de calor, [W/m ² °C]
λ	Coefficiente de condutibilidade térmica, [W/m.°C]
Pa.....	Pressão atmosférica, [atm]
$Q_{condensação}$	Energia de condensação, [J]
$Q_{evaporação}$	Energia de evaporação, [J]
e.....	Espessura, [m]

W	Trabalho, [J]
Re	Número de Reynolds, [adm]
Pr	Número de Prandtl, [adm]
Nu	Número de Nusselt, [adm]
ω	Humidade Absoluta, [$kg_{agua}/kg_{ar seco}$]
T	Temperatura, [°C]
H	Entalpia [(kJ/kg)]
ϕ	Humidade Relativa, [-]
D	Diâmetro, [m]
μ	Viscosidade dinâmica, [$N \cdot s/m^2$]
ρ	Densidade absoluta, [kg/m^3]
ν	Viscosidade cinemática, [m^2/s]
v	Velocidade de escoamento, [m/s]
ΔP	Perda de carga total da instalação, [Pa]
$R_{f,i}$	Resistência de incrustação interior ,[$m^2 \cdot K/W$]
$R_{f,o}$	Resistência de incrustação exterior, [$m^2 \cdot K/W$]
$R_{cv,i}$	Resistencia convectiva interior [$m^2 \cdot K/W$]
$R_{cv,o}$	Resistencia convectiva exterior [$m^2 \cdot K/W$]
R_w	Resistencia de condução [$m^2 \cdot K/W$]
H_f	Perda de carga total [Pa]
f	Factor de resistência, perda de carga ou factor Darcy-Weisbach
hp	Perda de carga, [m.c.a.]
L	Comprimento equivalente da tubagem, [m]
\dot{V}	Caudal que circula pela tubagem, [m^3/s]
g	Aceleração da gravidade, [m/s^2]
D	Diâmetro da tubagem, [m]
Q_{ac}	Consumo de energia de aquecimento, [kgep/ano]
Q_{arr}	Consumo de energia de arrefecimento, [kgep/ano]
K	Condutibilidade térmica (W/mK)

ABREVIATURAS

SCE.....	Sistema de Certificação Energética
CCV.....	Custo do Ciclo de Vida
TPM.....	Manutenção produtiva total
AMDEC.....	Análise Modal de Falhas e Defeitos
FMDS.....	Vd RAMS
GMAC.....	Gestão de Manutenção Assistida por Computador
RAM.....	Fiabilidade, Manutabilidade e Disponibilidade (Eg. FMDS)
SIGM.....	Sistema Integrado de Gestão da Manutenção
IEE.....	Índice de eficiência energética, [Kgep/m ² .ano]
COP.....	Coefficiente de desempenho, [adm]
AVAC.....	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado
UTA's.....	Unidades de Tratamento de Ar
UTAN.....	Unidade de Tratamento de Ar Novo
PNAC.....	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE.....	Programa Nacional de Acção para a Eficiência Energética
E.U.....	União Europeia

CAPÍTULO I – Introdução e enquadramento

1.1 Motivação

Existe a necessidade de avaliar o consumo actual a nível energético, bem como a sua evolução nas últimas décadas, para que seja possível aprofundar as suas causas, efeitos, aplicações e consequências energéticas.

Assim, enquanto que, no final da década de 1980, eram poucos os edifícios que dispunham de meios activos de controlo das condições ambientais interiores, actualmente, verifica-se uma penetração muito significativa de equipamentos de climatização, com um número já considerável de edifícios novos a preverem equipamentos de aquecimento e arrefecimento. Este factor ocorre quer no sector residencial, com um recurso cada vez maior a equipamentos de ar condicionado, sobretudo os de pequena dimensão, quer nos edifícios de serviços.

Esta alteração comportamental tem sido alvo de diversos estudos. Com os dados que daí advêm, passa a existir uma percepção real para o controlo do ambiente interior dos edifícios, uma vez que se tem verificado um acréscimo dos consumos de energia neste sector bastante acima da média nacional.

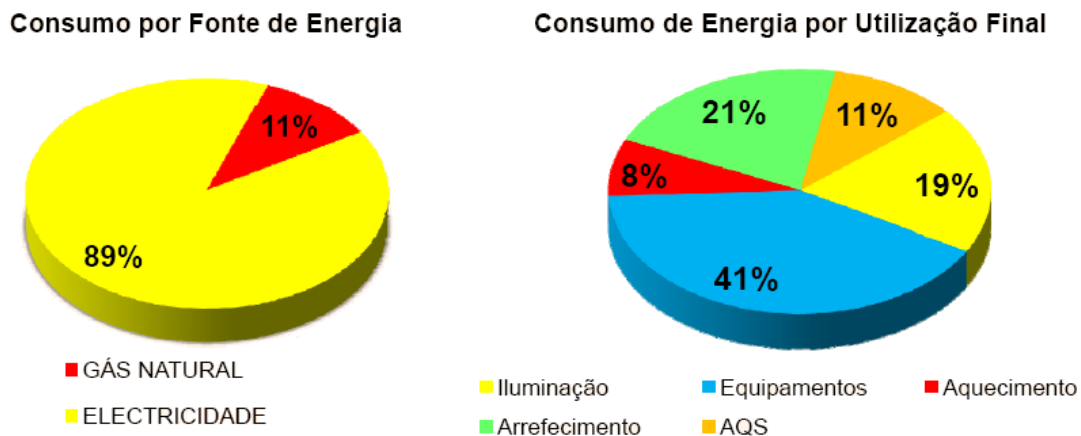


Fig. 1 – Consumos energéticos de um edifício modelo [32]

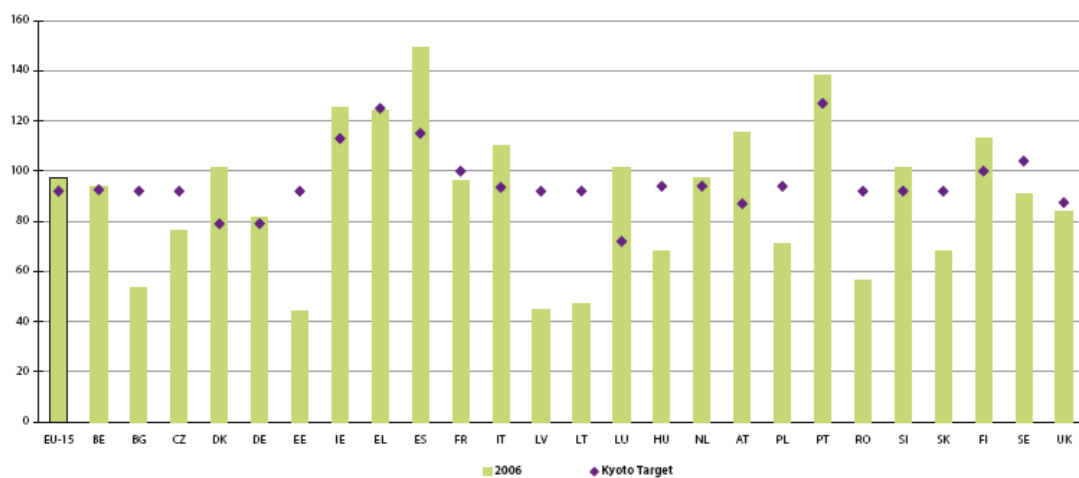
Como se tem verificado, a qualidade térmica, a poupança de energia e a integração no meio ambiente são factores cada vez mais importantes na vida moderna e contribuem para uma efectiva melhoria da qualidade de vida.

As trocas de calor entre o homem e o ambiente que o contorna processam-se, sobretudo, por condução, por convecção, por radiação e todos os fenómenos adjacentes a estes,

como a evaporação, sendo assim, os factores de ambiente que as influenciam, fundamentalmente, a temperatura do ar, a temperatura radiante, a humidade relativa e a velocidade do movimento do ar, que se tornam impreterivelmente factores de estudo.

Nos edifícios, a utilização de materiais isolantes é essencial, para que estes correspondam aos parâmetros de qualidade, sempre mais exigentes ao nível de conforto, e se consiga através desta aplicação minorar os gastos energéticos em arrefecimento e aquecimento de edifícios, assim como outros gastos energéticos relativos a pequenos equipamentos de climatização.

Os equipamentos de climatização responsáveis pela compensação das perdas e ganhos internos dos edifícios são também os responsáveis pelos elevados consumos energéticos e emissões de CO₂ para a atmosfera.



Source: EEA

Fig. 2 – Totalidade de gases emitidos na EU em 2006 (Protocolo de Kyoto) [3]

Conclui-se pelo exposto que, nas últimas décadas se tem assistido a um aumento do consumo de energia, processo que neste momento é liderado pelos países emergentes, nomeadamente a China e a Índia. Mantendo-se o “*business as usual*”, as necessidades energéticas mundiais aumentarão mais de 50% até 2030 [1]. O crescimento do lado da procura, com o conseqüente aumento da pressão sobre o lado da oferta, aliado a uma diminuição dos stocks é um dos vários factores que tem levado a um aumento dos preços do petróleo [2] para níveis próximos dos verificados na sua segunda crise em 1979, e até muito mais que isso, senão veja-se os preços atingidos em 2008: 160£ por barril.

Estes são alguns dos motivos que levam a uma crescente consciencialização das questões energéticas nas sociedades actuais.

O mercado aumentou no consumo de energias renováveis, durante os últimos cinco anos, devido à Directiva (2001/77/EC).

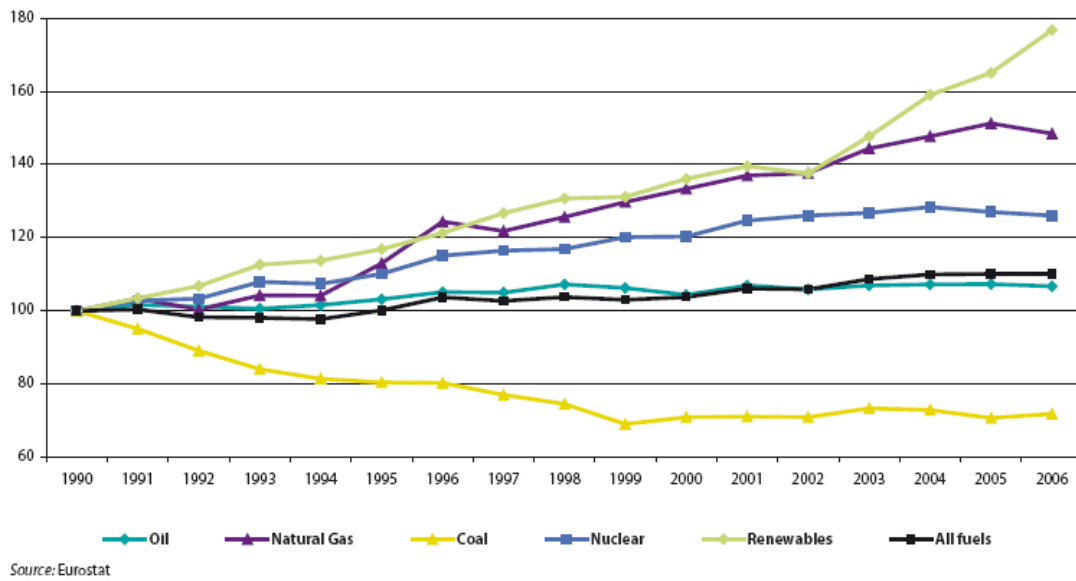


Fig. 3 – Desenvolvimento das reservas energéticas primárias [3]

Tal como ocorreu aquando das crises do petróleo de 1973 e 1979, a noção da finitude dos recursos energéticos fósseis e da sua distribuição em áreas política e militarmente instáveis ocupa um espaço central nas políticas energéticas actuais que, cada vez mais, preconizam a utilização de recursos energéticos alternativos.

A União Europeia está dependente de combustíveis fósseis em cerca de 79% como energia primária, sendo que, aproximadamente, metade desse valor consiste em produtos derivados do petróleo, tendo a sua maior proveniência na Rússia.

De acordo com análises realizadas pela União Europeia, tal como referido supra, uma percentagem significativa do aumento de consumo energético está relacionado com edifícios e habitações.

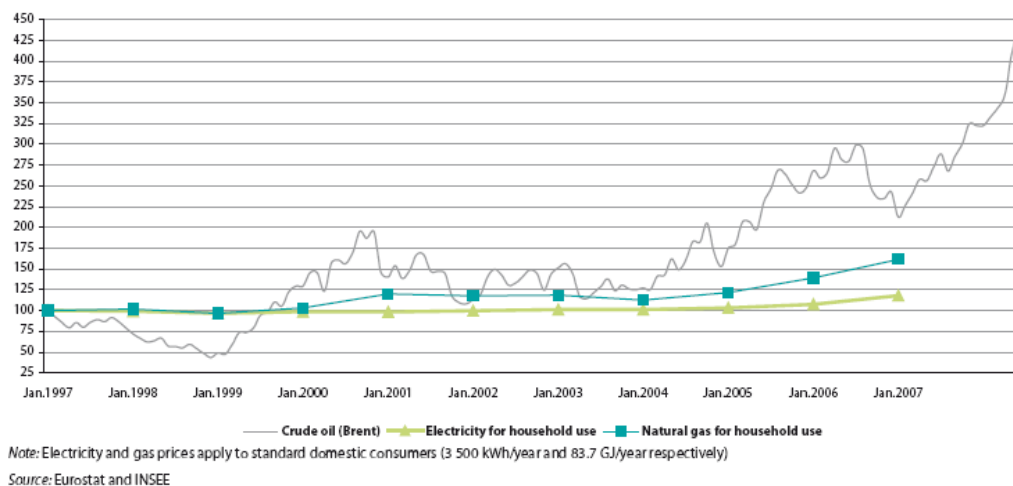


Fig. 4 – Evolução dos preços da energia para consumo doméstico [3]

A União Europeia publicou, em 4 de Janeiro de 2003, a Directiva n.º 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que, entre outros requisitos, impõe aos Estados membros a redução dos consumos energéticos nos edifícios novos e reabilitados, impondo, com poucas excepções, a implementação de todas as medidas pertinentes com viabilidade técnica e económica. Assim se impõe a obrigatoriedade de verificação periódica dos consumos reais nos edifícios e no âmbito da implementação do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), em que Portugal também se encontra, em conformidade com os Decreto-lei n.ºs 78, 79 e 80 / 2006, de 4 de Abril.

A redução de gastos energéticos e das alterações climáticas é um compromisso que todos temos que assumir, por ser premente a diminuição destes consumos e das emissões de gases em aproximadamente 20% [3].

Dentro da União Europeia, esta política de desenvolvimento da eficiência energética, divide-se em diversos programas de acção, direccionados para a racionalização energética. Os Estados membros, internamente, até 2020, terão que os fazer cumprir, designadamente, no âmbito do sector dos transportes, habitação, indústria e para o sector público, com um estudo de comportamentos, aplicação de taxas e incentivos financeiros [29].

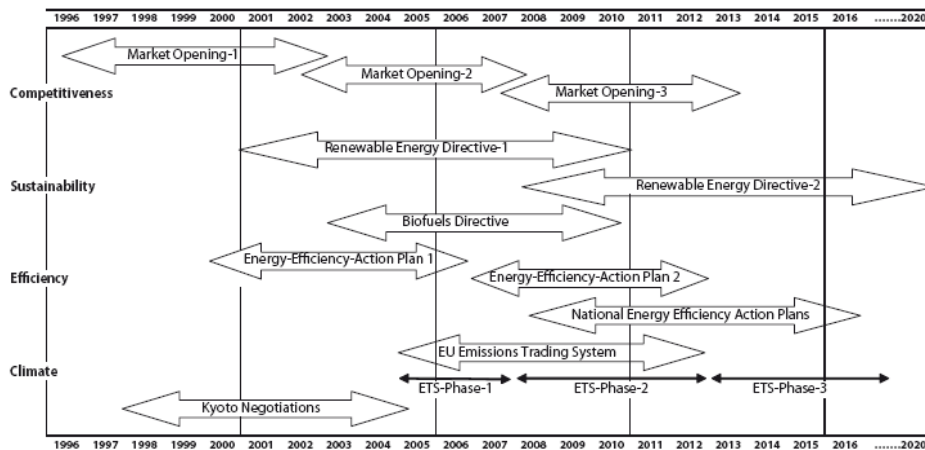


Fig. 5 – Política de desenvolvimento energético para a EU [3]

A par das políticas públicas surge a necessidade de actuar na esfera privada a fim de alcançar os objectivos estabelecidos pela EU. Estes, para que possam concretização, precisam ver alterada a realidade física que se verifica, actualmente, no país, uma vez que o estado de má conservação dos equipamentos energéticos é notório em todo o território nacional, sobressaindo o seu abandono e a inexistente ou deficiente manutenção.

Assim, no sector privado, pelos motivos enunciados, parte-se para a dimensionalização em projecto e simulação antes de construído, evitando o sobredimensionado e a tentativa de colmatação de todas as lacunas no âmbito da construção e da sua manutenção no “*pós – construído*”.

O plano de ataque consiste em actuar imediatamente nas construções com equipamentos recentes e novos, inspeccionar e atacar o existente, criando planos de manutenção e contratar serviços de manutenção cumprindo prazos de garantia, incluir uma manutenção de tipologia cíclica e de auto reformulação, medindo, recolhendo dados operacionais, gerando parâmetros de medição de desempenho dos equipamentos, inserindo uma qualidade de manutenção e tentando manter sempre os padrões originais.

Isto porque, sendo um edifício constituído por elementos ou componentes aí colocados para dar resposta a uma determinada exigência de consumo e estando o comportamento do mesmo relacionado com o desempenho funcional dos seus componentes, a implementação e integração de programas de manutenção preventiva das instalações técnicas em sistemas integrados de manutenção é essencial para permitir manter um nível elevado do desempenho dessas instalações e o prolongamento da sua vida útil, contribuindo, assim, decisivamente para atingir os objectivos europeus nas três áreas principais:

- Aumento da eficiência energética dos edifícios;
- Redução de emissões de CO₂;
- Garantia de uma elevada qualidade e protecção do utilizador.

Pode-se recorrer a diversas situações para se conseguir atingir essas metas como o desempenho energético passivo, a redução do consumo de energia eléctrica, o uso de fontes renováveis e, finalmente, a utilização de equipamentos de elevada eficiência energética.

É neste contexto que surge o sistema da trilogia da manutenção:



Fig. 6 – Trilogia energética em AVAC [32]

Os ganhos desta aproximação são muito significativos, tendo-se assistido à divulgação destas metodologias que até agora quase só eram usadas nas tecnologias do aeroespacial nos transportes, na saúde e nos domínios da indústria.

Para garantir que as actividades de manutenção são as adequadas, há que analisar as situações de utilização actual e equacionar se há sobremanutenção, submanutenção, ou se se focam os meios disponíveis em tarefas não essenciais e se deixam menos acompanhados equipamentos críticos.

A análise deve ser baseada em informação objectiva, abrangendo dados de histórico e dos resultados decorrentes das inspecções efectuadas, suportada por análise estatística e informação oriunda do conhecimento do pessoal e técnicos da manutenção.

1.2 Objectivos.

O presente trabalho tem como objectivo avaliar as repercussões energéticas de sub-equipamentos existentes em UTA's e UTAN's, através da análise da perda de carga e da evolução das incrustações por falta de manutenção casual ou persistente do equipamento e respectivas consequências energéticas.

Neste sentido, alerta-se para a utilidade dos planos de manutenção adaptando-os ao risco de falha que se pretende assumir e ao custo do ciclo de vida, uma vez que a falta de manutenção acelera a deterioração dos equipamentos.

1.3 Estado da Arte

Durante muitos anos, a manutenção AVAC resumia-se a uma mera manutenção paliativa, o que prejudicava o normal funcionamento dos equipamentos e a diminuição do seu tempo de vida útil.

Perante isto, impunha-se o surgimento de legislação que tornasse obrigatória e discriminasse os meios de realização da manutenção dos equipamentos de climatização.

Assim sendo, através do Decreto -Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, foi criado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), instituindo-se um regime que prevê o tratamento integrado de duas componentes essenciais: minimizar os riscos para a saúde pública e potenciar o conforto e a produtividade.

Paralelamente, através do Decreto -Lei n.º 79/2006 (art.º 19º), e do Decreto-Lei n.º 80/2006, ambos de 4 de Abril, foram aprovados os Regulamentos dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE) e os Regulamentos das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), diplomas que consubstanciam o quadro legal vigente e que definem os critérios e os requisitos a observar nas inspecções e manutenções a realizar no âmbito do SCE.

Posteriormente, a Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, instituiu a obrigação de os Estados membros publicarem um plano de acção para a eficiência energética, estabelecendo metas de, pelo menos, 1 % de poupança de energia por ano até 2016 [30].

Neste contexto, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, foi aprovado o Programa Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) (2008-2015), que estabelece o «Programa de Eficiência Energética no Estado» como um dos seus eixos principais, a par do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) [30].

Um dos desafios mais relevantes para o futuro da manutenção de sistemas AVAC, que garantirá a eficiência energética, passa por assegurar a realização da manutenção do equipamento em determinados pontos fulcrais quer no que se relaciona com os custos energéticos, uma vez que, a fraca ou inexistente manutenção criará deficiências nos equipamentos, quer na dispendiosa troca dos equipamentos propriamente ditos quer nas repercussões ao nível da saúde dos cidadãos.

Estabelecendo os parâmetros a observar aquando da realização da manutenção (manutenção preventiva e preditiva), carregando com estas informações bases de dados e evoluindo ferramentas de software disponíveis no mercado para a gestão e optimização da manutenção (já bastante implementadas na actividade industrial), espera-se neste momento, reduzir e possivelmente, eliminar esses gastos desnecessários.

1.4 Organização da dissertação

A estrutura deste trabalho é constituída por seis capítulos, referências bibliográficas, conselhos e anexos.

O Capítulo I apresenta uma breve Introdução ao presente trabalho, objectivos e estado actual da manutenção AVAC.

No Capítulo II apresenta-se conceitos preliminares, visando a melhor compreensão do tema e um estudo resumido sobre as bases de manutenção industrial e AVAC, técnicos e aproximações ao regulamento na perspectiva da manutenção, a importância do custo de vida de um equipamento e pesquisa bibliográfica sobre o tema.

O Capítulo III dedica-se à introdução do caso de estudo consistindo numa análise descritiva do impacto dos componentes na eficiência das UTA/UTAN's, a sua manutenção geral e metodologias desenvolvidas.

No Capítulo IV desenvolve-se o caso de estudo de análise teórica relativo ao aumento das incrustações nos permutadores de calor das UTA's/UTAN's, bem como as repercursões no consumo energético do circuito hidráulico.

No Capítulo V será apresentada uma análise energética partindo do pressuposto de um conjunto de cenários de perdas energéticas provocados pelos vários componentes, referidos nos Capítulos anteriores, implicações no índice de eficiência energética geral do edifício.

No Capítulo VI serão apresentadas as conclusões gerais do trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

CAPÍTULO II – Manutenção nos sistemas AVAC

2.1 Aspectos gerais

Neste capítulo pretende-se, de forma sucinta, apresentar os princípios fundamentais da manutenção AVAC, comparando-os com o contexto da manutenção industrial.

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, que deveriam fornecer ar de qualidade aos espaços interiores confinados, nem sempre cumprem esta função, para a qual foram concebidos. A causa desse eventual insucesso poderá resultar de uma deficiência de projecto, de uma má instalação ou de uma manutenção inadequada ou mesmo ignorada.

Quando isso acontece, os sistemas AVAC tornam-se potenciais fontes de poluição, contrariando assim a finalidade do seu propósito: "Tratar o Ar com Qualidade".

A aplicação de uma estratégia de manutenção adequada ao processo irá minimizar os riscos de contaminação pelas fontes, porque evitar existência desta contaminação é o seu objectivo principal.

É igualmente imperativo, que estes sejam correctamente aplicados e não relativizar a poupança de energia, para não influenciar negativamente o equilíbrio sustentável do meio ambiente.

Por se tratar de um problema complexo e polémico (pelas diferentes opiniões e pelo desconhecimento de alguma matéria de manutenção AVAC), será necessário e aconselhável recorrer aos conhecimentos de outras áreas pois, só assim se conseguirá evoluir no que toca à manutenção e/ou à manutenção de melhoramento. É esta a estratégia de manutenção a adoptar.

2.2 Evolução Histórica: Manutenção Industrial versus AVAC

Para uma melhor abordagem e entendimento do assunto, é importante conhecer, ainda que superficialmente, a história da manutenção.

A manutenção em sistemas AVAC pode assentar nos princípios da manutenção industrial, dado ser de máquinas que estamos a falar. Esta é uma preocupação recente, mas de ordem obrigatória com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de

Abril. A manutenção apresenta fases distintas ao longo da história, de acordo com o grau de desenvolvimento tecnológico e a influência de máquinas e equipamentos na economia das nações.

Equipamento Industrial [31]

Até 1914 – Inexistência de manutenção; reparação de avarias com recurso ao pessoal da produção.

1914 a 1930 - (consequência da 1ª Guerra Mundial) A manutenção (correctiva) aparece no organigrama de empresas, ao nível de secção.

1940 - (consequência da 2ª Guerra Mundial) Aparece a manutenção preventiva. O organigrama passa a integrar um órgão de supervisão da conservação ao mesmo nível da produção em empresas de maior exigência (aviação comercial e centrais nucleares).

1970 - O órgão da engenharia da manutenção assume posição destacada, passando a desenvolver controlos e análise visando a optimização económica (Gestão).

Actualmente – Dispõe de sofisticados meios de trabalho, chegando a ser o maior departamento da organização.

Equipamento de AVAC [31]

1990 - Não existiam requisitos térmicos e de manutenção na edificação.

2006 - Novo pacote legislativo (4 de Abril)

SCE - Dec. Lei 78/2006

RSECE - Dec. Lei 79/2006

RCCTE - Dec. Lei 80/2006

Transpõe a Directiva 2002/91/CE para direito nacional e começam a desenvolver-se planos de Manutenção Preventiva e Preditiva.

Actualmente – Em situação de aplicação, estudo e evolução de manuais e matérias.

2.2.1 Evolução da Manutenção Industrial

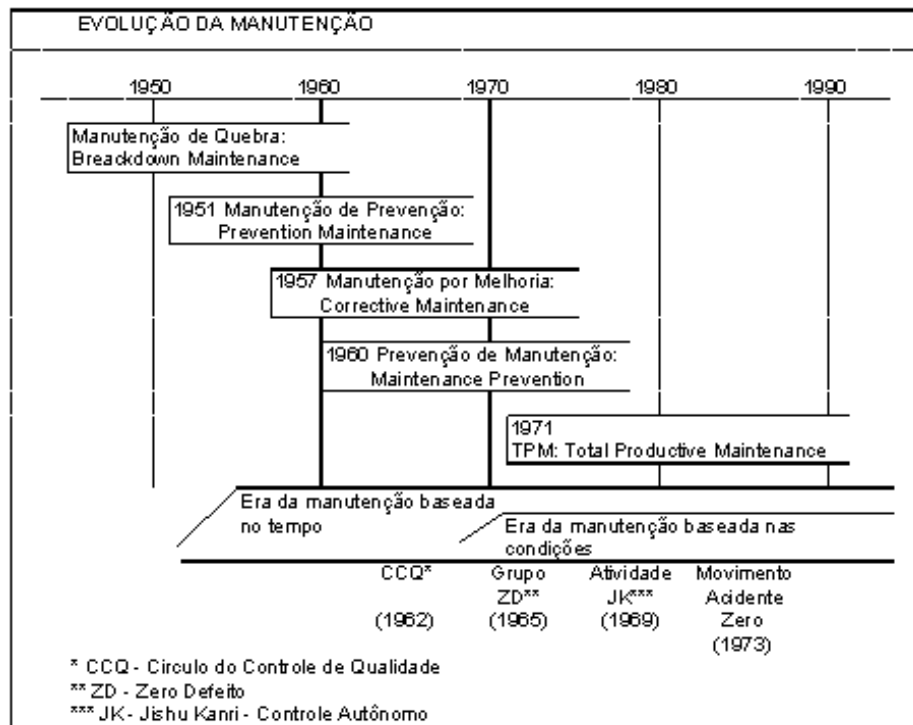


Fig. 7 – Quadro resumo sobre a evolução da manutenção Industrial [31]

Numa Primeira fase de Pré-Revolução Industrial (Século XVIII):

- Não existiam equipas dedicadas à actividade de manutenção;
- O próprio operador (dono da máquina), também era o responsável pela sua construção e manutenção;
- A participação das máquinas na economia era diminuta, portanto a situação não causava grandes problemas;
- A complexidade das máquinas existentes era pequena, tornando a reparação relativamente simples.

Numa segunda fase surgem as primeiras equipas (Século XIX):

- Surgem grandes invenções: electricidade, máquinas a vapor e motores;
- Aumenta a complexidade das máquinas, exigindo-se pessoal especializado para operação e consertos;
- Passa a exigir-se maior agilidade na reparação (economia das nações).

Numa terceira fase surge a manutenção correctiva (1900 – 1920):

- Na Primeira Guerra Mundial houve grande influência das máquinas no poder das nações;
- Surge a necessidade de produção em grande escala;
- A máquina parada necessita de uma reparação rápida para garantir o nível de produção;
- Surgem nas indústrias as equipas de manutenção correctiva.

Numa quarta fase surge a manutenção preventiva (1920 – 1950):

- A Segunda Guerra Mundial impulsiona a indústria aeronáutica, que se torna um factor decisivo para o conflito;
- A par dos Aviões, que são máquinas que praticamente não admitem defeitos, surge o conceito de prevenção na manutenção;
- Surge a electrónica e o primeiro computador: são instrumentos que passam a ser incorporados nas máquinas, auxiliando na operação e programação da manutenção.

Numa quinta fase temos a racionalização da manutenção (1950 – 1970):

- É apenas na década de 1950 que o termo "manutenção" se consolida na indústria, nos Estados Unidos;
- A crise do petróleo traz grandes impactos nos custos de produção;
- A Indústria torna-se na principal actividade económica (riqueza das nações);
- Os custos de manutenção precisam ser racionalizados e, por isso, surge a Engenharia de Manutenção;
- A Correção e a Prevenção já não são suficientes: a manutenção deve ser feita com economia.
- Em 1951 surge a Manutenção Preventiva;
- Em 1954 surge a Manutenção do Sistema Produtivo;
- Em 1957, temos a Manutenção correctiva com incorporação de melhorias;
- Segue-se a introdução da Prevenção de Manutenção, em 1960;
- Depois, a Engenharia da Fiabilidade, a partir de 1962;
- E por fim, a Engenharia Económica.

Numa sexta fase temos a manutenção Produtiva Total (1970 – até hoje)

- Com a globalização incrementa-se o aumento da concorrência entre as indústrias: “sem ser competitivo não há como sobreviver”;
- Há novas técnicas de controlo de qualidade: produtos de elevado desempenho;

- A Manutenção torna-se ferramenta essencial para a melhoria da produtividade através da análise da causa de falha dos equipamentos;
- As indústrias japonesas e americanas dão destaque à produtividade, utilizando ferramentas que integram Produção e Manutenção, melhorando a qualidade dos produtos e reduzindo os custos de manutenção;
- A incorporação dos conceitos das Ciências Comportamentais;
- O desenvolvimento da Engenharia de Sistemas;
- A logística e a terotecnologia;
- A oficialização do TPM na empresa japonesa Nippon Denso, em 1971.

Até ao momento, na década de 1990, regista-se:

- A introdução da Engenharia Mecatrónica;
- As empresas começam a implementar o TPM.

Nas últimas duas décadas, surge o conceito da era da manutenção baseada nas condições, isto é, a partir da manutenção preditiva, acompanha-se o estado das máquinas, o que permite prever com antecedência a provável ocorrência de falha.

Em 2006, com a aprovação e publicação do Decreto-Lei nº 78/2006, a manutenção AVAC sai, ainda, da terceira fase acima indicada e encara uma atitude positiva, passando pela reformulação de um conjunto de acções que podem ser divididas em acções de inspecção, acções de manutenção preventiva, acções de manutenção correctiva e acções de formação de quadros de pessoal técnico, conforme se descreve em pontos seguintes.

2.3 Importância da manutenção, medidores e indicadores.

Aos problemas tradicionais da manutenção, vieram juntar-se agora as necessidades de economia de energia, a conservação do meio ambiente, a renovação dos equipamentos e das instalações, a fiabilidade, a manutabilidade, a eficiência, a optimização dos processos, a sua própria qualidade e a valorização dos seus técnicos.

Sente-se a importância crescente da manutenção como um dos vectores fundamentais da economia das empresas, do País e da Europa, conforme indicado no capítulo I.

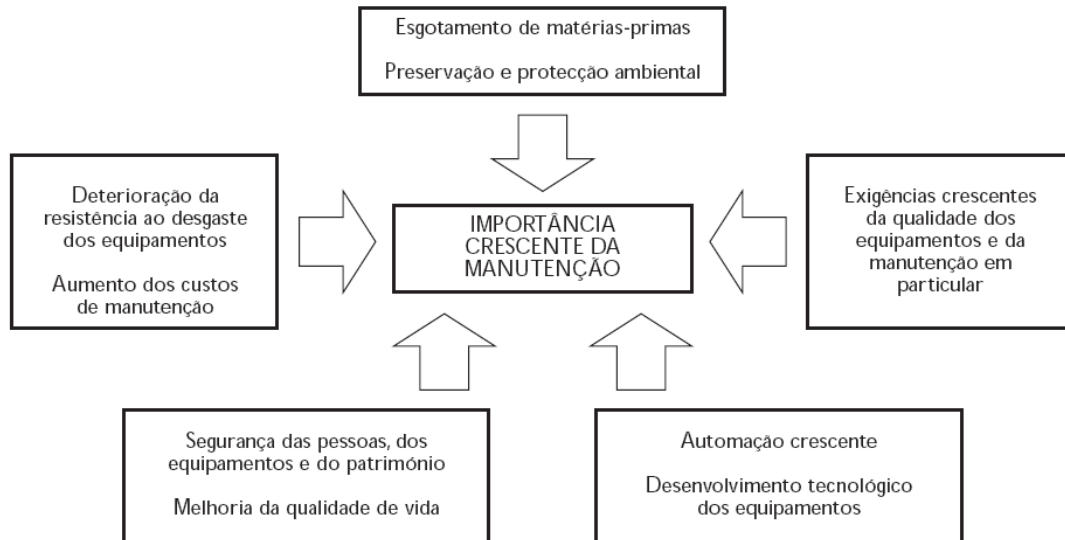


Fig. 8 – A importância crescente da Manutenção [33]

Existem três pontos de vista, segundo os quais, terá de se abordar objectivamente a manutenção:

- De um ponto de vista humano, como primeiro plano, está a segurança, as condições de trabalho, conforto e protecção do meio ambiente.
- Do ponto de vista técnico, a disponibilidade, durabilidade e manutibilidade dos equipamentos.
- Do ponto de vista económico, o menor custo de exploração, menor custo de falha e economia energética.

2.4 Técnicas de Manutenção (RCM, TPM e RAM)

2.4.1 RCM - Manutenção Centrada na Fiabilidade

O RCM (Reliability Centered Maintenance) [34] é um conjunto de procedimentos que se desenvolvem no sentido de diagnosticar os vários factores que contribuem para a não fiabilidade de um equipamento, bem como as medidas a tomar para implementar a sua fiabilidade.

O RCM representa um processo de decisão lógico destinado a estabelecer programas de Manutenção mais eficientes, nomeadamente preventiva. As técnicas que utiliza têm em

conta os defeitos e as possibilidades de avaria que podem ter sido introduzidos ou causados durante a produção, armazenagem, operação e manutenção dos equipamentos. Com esta técnica procede-se, ainda, a uma normalização dos defeitos potencialmente detectáveis e à construção das árvores de falhas.

A fim de se poder compreender e desenvolver as várias técnicas utilizadas no RCM, teremos de dominar conceitos como os de Fiabilidade, Manutibilidade e Disponibilidade. Abordemos então os vários conceitos enunciados, começando pela Fiabilidade.

2.4.1.1 Fiabilidade

A Fiabilidade de um equipamento define-se como sendo a probabilidade de esse equipamento exercer as funções para que foi projectado, por um período de tempo determinado. Pode concluir-se, portanto, que Fiabilidade será a capacidade que o equipamento tem de manter a qualidade do trabalho que executa durante a sua vida útil.

Designa-se por TBF “*Time Between Failures*” (Tempo de Bom Funcionamento), o intervalo de tempo que decorre entre duas avarias consecutivas num determinado equipamento, e por MTBF “*Mean Time Between Failures*” (Tempo Médio de Bom Funcionamento), o valor médio dos TBF –Tempos de Bom Funcionamento, para o equipamento em causa. O inverso do MTBF representa também um importante conceito em Manutenção, a taxa de avarias (λ).

O MTBF é um parâmetro muito importante ao nível da Fiabilidade, pois representa a “esperança matemática” das avarias, ou seja, o tempo provável ao fim do qual o equipamento avaria, se utilizado nas condições nominais [34].

$$MTBF = \frac{\Sigma TBF}{N} \quad (2.1)$$

N – número de avarias verificadas no período.

A noção de tempo poderá ser substituída por outro tipo de unidade de contagem (horas, quilómetros, etc.).

Matematicamente, expressar-se-á a função fiabilidade através da probabilidade do bem não falhar num dado período - a probabilidade é função do tempo e representa-se por $R(t)$. A probabilidade de falha nesse período é expressa pela função $F(t)$ [34], com:

$$f(t) = 1 - R(t) \quad (2.2)$$

Se tivermos a função densidade de falhas, $f(t)$, com:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.3)$$

teremos

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t) \quad (2.4)$$

ou

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad (2.5)$$

e

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx \quad (2.6)$$

Quando a taxa de avarias é constante, situação bastante comum em sistemas reparáveis, a função fiabilidade é expressa por uma lei exponencial negativa, $R(t)=\exp(-\lambda t)$.

Os modelos referentes ao comportamento do material derivam da necessidade de avaliar os modos de degradação dos equipamentos ao longo da sua vida útil. Essa degradação vai influenciar a evolução da taxa de avarias ao longo do tempo, que é representada pela conhecida "curva da banheira".

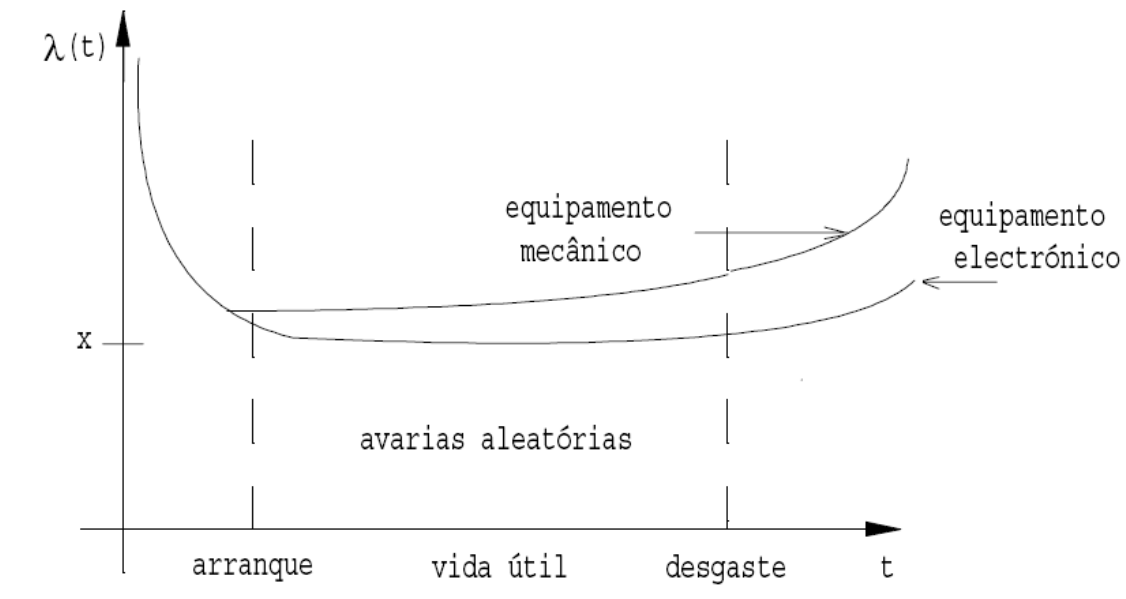


Fig. 9 – Curva de banheira (Comparação equipamento electrónico e mecânico) [34]

A curva retratada anteriormente (Fig. 9), ilustra os três períodos distintos da vida do equipamento: juventude (arranque), maturidade (vida útil) e velhice (desgaste). No período de maturidade, as avarias deverão ocorrer de forma aleatória com taxa de avarias aproximadamente constante.

A este facto fica associado o custo de ciclo de vida do equipamento que pode ser traduzido pela seguinte expressão[34]:

$$CCV = C_{ci} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_{pp} + C_a + C_d \quad (2.7)$$

Onde:

C_{ci} - Custos iniciais (custos de construção civil, tubagens, acessórios).

C_{in} - Custos de instalação e ensaios (arranque e formação de pessoal).

C_e - Custos energéticos (operação do sistema incluindo controlos e quaisquer serviços auxiliares).

C_o - Custos de operação (mão-de-obra e supervisão normal do sistema).

C_m - Custos de manutenção e reparação (reparações previstas e de rotina).

C_{pp} - Custos de paragens (perda de produção).

C_a - Custos ambientais.

C_d - Custos de desmontagem e desmantelamento (incluindo a restauração ambiental do local e serviços de destruição do equipamento).

Actualmente, tem que ter-se em conta que os utilizadores, em muitos casos, já não observam a primeira fase desta curva. Esta realidade relaciona-se com o facto de muitos equipamentos chegarem às mãos dos utilizadores já testados e rodados de forma a eliminar a parte de "mortalidade" inicial. A curva fica, assim, apenas com duas zonas.

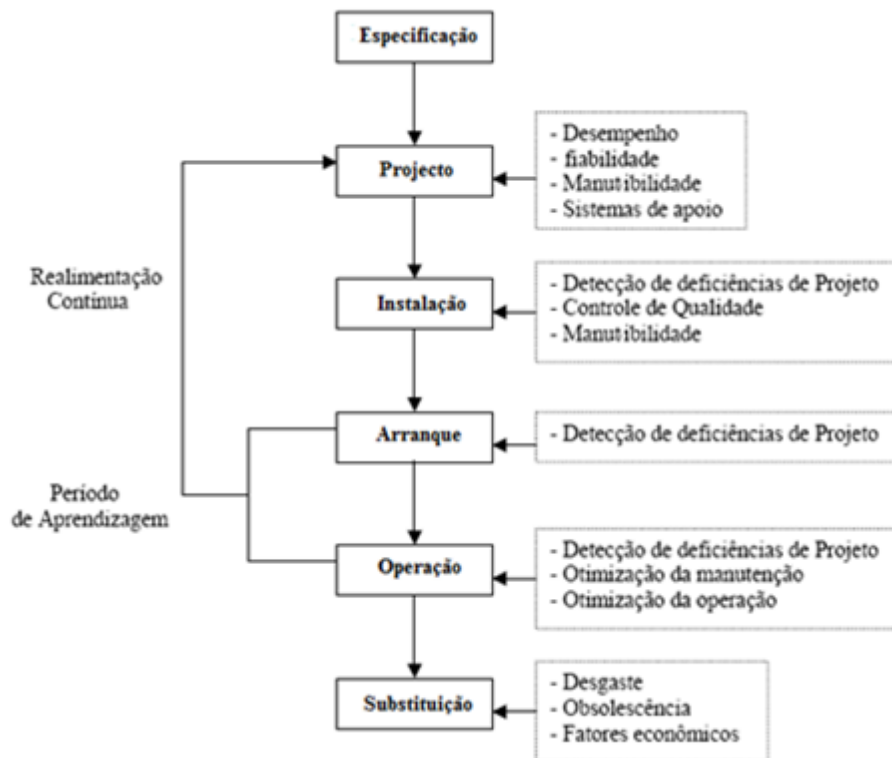


Fig. 10 – Estágios da vida útil de um equipamento [31]

2.4.1.2 Manutibilidade

A Manutibilidade define-se como a probabilidade de duração de uma reparação correctamente executada.

O TTR – “*Time to Repair*” (Tempo Total de Reparação) – define-se como o intervalo de tempo entre a detecção de uma avaria e o momento em que após reparado retoma o bom funcionamento.

No conceito de TTR – Tempo Total de Reparação, incluem-se os seguintes tempos:

- Tempo de espera;
- Tempo gasto na detecção da avaria;
- Tempo de diagnóstico da avaria;
- Tempo de acesso ao componente avariado;
- Tempo de substituição / ou reparação;
- Tempo de montagem;
- Tempo de controlo e arranque do equipamento.

O MTTR é um parâmetro muito importante ao nível da Manutibilidade, pois representa a “esperança matemática” do tempo de reparação de uma dada avaria, ou seja, o tempo provável ao fim do qual essa avaria estará reparada [34].

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N} \quad (2.8)$$

N – número de avarias verificadas no período

2.4.1.3 Disponibilidade

A partir dos dois parâmetros (MTBF e MTTR) anteriormente definidos, poderemos introduzir outro conceito vital para qualquer sistema produtivo: a Disponibilidade.

A Disponibilidade de um equipamento define-se pela probabilidade que um equipamento tem de assegurar a função para que foi produzido, num dado instante.

A Disponibilidade exprime-se matematicamente por [34]:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (2.9)$$

A partir da expressão anterior concluímos que existem duas formas de aumentar a Disponibilidade dos equipamentos: uma será pelo aumento do MTBF, outra será pela diminuição do MTTR.

A diminuição do MTTR pode alcançar-se através da eliminação de algumas das parcelas que compõe o TTR como, desde logo se torna evidente, será o caso dos tempos de espera por indisponibilidade de técnicos, equipamentos e ferramentas; o tempo de espera do fornecimento de peças, bem como outros tempos improdutivos eventualmente associados aos outros componentes do TTR. Dentro da análise da disponibilidade de um equipamento pode surgir a necessidade de análise de prioridades, que poderá ser efectuada com o recurso às ferramentas de auxílio - *curva A,B,C* e *diagrama de Pareto*.

2.4.2 TPM – Manutenção Produtiva Total

O TPM significa Manutenção Produtiva Total e é uma nova filosofia de gestão da manutenção. Surgiu inicialmente no Japão e teve grande expansão a partir dos anos 80, aplicada essencialmente na maquinaria industrial, podendo ser uma filosofia a seguir na maquinaria AVAC.

À medida que a robotização e a automatização progridem ter-se-á de pensar que são as instalações industriais que fazem a qualidade. Das instalações não só depende a qualidade mas também a produção, o custo, os atrasos, a segurança e o ambiente.

O nível de automatização de algumas das modernas instalações são por vezes inimagináveis. Poder-se-á pensar à primeira vista que o homem deixou de ser útil nestas unidades industriais robotizadas. No entanto, a manutenção destas instalações só pode ser realizada por engenheiros e operários altamente especializados.

A exploração eficaz de instalações sofisticadas requer uma organização especial. Com o TPM consegue-se essa organização, onde se envolvem todos os participantes da empresa, desde o director até ao mais modesto operador. A introdução do TPM é extremamente rentável.

Sendo o TPM uma técnica também de manutenção, os resultados obtidos em termos de ganhos de produtividade podem atingir os 100%. Estes resultados são obtidos exclusivamente a partir de uma diferente filosofia de exploração dos equipamentos existentes, sem recorrer a novos investimentos em equipamentos.

O TPM baseia-se na prática dos “Zero Defeito”. Logo que este princípio é aplicado, a produtividade das instalações e dos colaboradores melhora, o custo de fabrico baixa e os stocks diminuem.

Hoje em dia, a competitividade não se realiza em termos nacionais, mas sim em termos globais. É uma necessidade fundamental aumentar a eficiência técnica e económica das empresas. Aceitar este desafio quer dizer que se deverá ter uma atitude de Melhoria Contínua em todas as áreas da empresa.

Muitas empresas europeias e também já muitas empresas nacionais introduziram a ISO 9000 e avançaram na introdução do TPM. A eficiência interna de uma empresa, que se baseia na execução correcta das actividades, é medida, de acordo com a filosofia TPM, através do indicador “*Overall Equipment Efficiency*” – OEE, ou Eficiência Global.

O “*Overall Equipment Efficiency*” é um indicador do desempenho global, pois relaciona e associa a disponibilidade, a produtividade e a qualidade.

2.4.3 RAM, gestão da Manutenção

O objectivo definido da metodologia RAM (*Reliability, Availability, Manutentability*) - Análise conjunta de risco, de fiabilidade, disponibilidade e manutibilidade [35] é fundamentar decisões construtivas, de exploração e de manutenção, no sentido de garantir o nível de risco e de fiabilidade, a um LCC (*Life Cycle Cost*) – Custo de Ciclo de Vida – definido.

Embora esta análise possa ser aplicada em todas as fases do ciclo de vida de um equipamento, a sua aplicação na fase de Projecto é mais fácil e simples.

Esta abordagem permite identificar pontos fracos nas diversas fases do ciclo de vida, quer por via de análise, durante a fase de concepção, quer na fase de exploração, por via de informação gerada nas inspecções e intervenções de manutenção.

Desta forma, potenciam-se melhorias de desempenho por via de alterações à concepção ou por modificações nas condições de exploração, planos de manutenção e inspecções.

A concretização desta abordagem é, em geral, suportada por dois instrumentos:

- O ***Sistema de Gestão de Configuração***, que permite um controlo eficaz sobre o cadastro dos itens críticos, desde a fase inicial do projecto, e
- O ***Plano Logístico Integrado***, que constitui uma previsão, ao longo do ciclo de vida, de toda a actividade dos sistemas e equipamentos, nomeadamente nas perspectivas de Manutenção, Qualidade e Exploração.

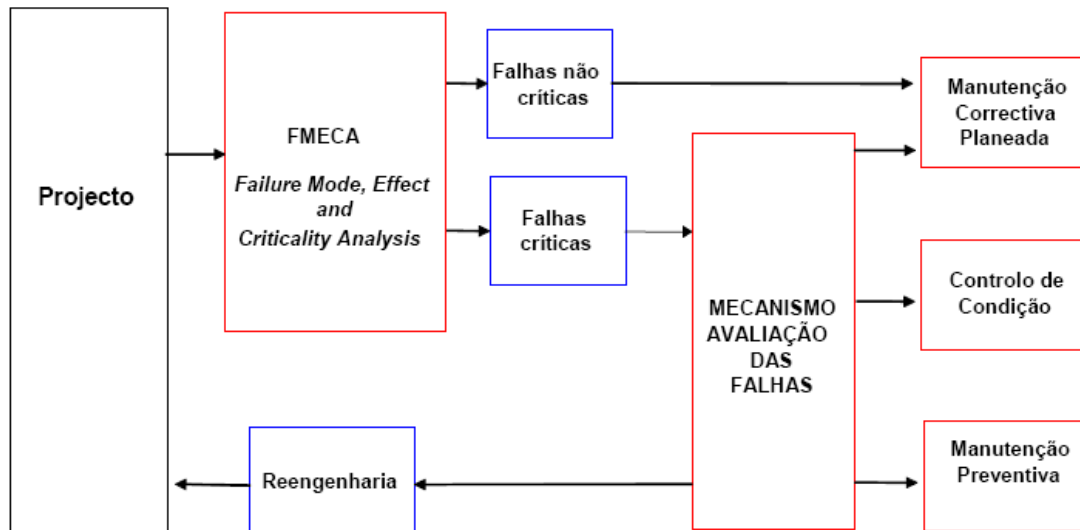


Fig. 11 – Base metodológica da manutenção RAM (*Reliability, Availability, Manutentability*) [35]

A metodologia RAM é formada por uma sequência de operações que se discriminam de seguida:

- **Análise funcional** – Com base numa estruturação e hierarquização dos equipamentos, (sistemas, e subsistemas, etc.) por blocos funcionais, procede-se à definição das funções do activo e padrões de desempenho associados ao contexto de serviço pretendido.
- **Definição de modos de falha e da respectiva criticidade – FMEA-FMECA** “*Failure mode effect and critical analysis*”, especificando as formas possíveis para que o equipamento possa deixar de cumprir as suas funções (Modo de falha); o que causa cada falha funcional (causa de falha); o que acontece quando cada uma das falhas ocorre (efeitos da falha), e qual a importância de cada modo de falha. Estas podem ser descritas de forma estruturada por Causa, Efeito, Acção (*Fault Tree Analysis*).
- **Cálculo da fiabilidade** – com base na associação de valores de fiabilidade aos diversos blocos funcionais que traduzem de forma arborescente os equipamentos, sistemas e subsistemas, obtém-se a Fiabilidade resultante.
- **Definição do modelo de manutenção e respectivos planos** – Caracterizar as tarefas de manutenção consideradas para atingir os objectivos de desempenho pretendidos, nomeadamente, as acções de substituição, afinação ou inspecção, bem como limpeza e lubrificação.

- **Definição da Disponibilidade Previsional** – Verificação por via analítica da adequabilidade do plano de manutenção e características de fiabilidade à especificação de disponibilidade, com o objectivo de demonstrar que o sistema pode cumprir as especificações de projecto, garantindo a disponibilidade pretendida.
- **Determinação do custo do ciclo de vida dos equipamentos** - Cálculo do Custo global do activo considerando o investimento inicial, os custos de manutenção devidos a avarias, os decorrentes da implementação do plano de manutenção e inspecção propostos, incluindo mão-de-obra, utilização de suplentes, consumíveis e serviços; os custos devidos a consumos de energia, custos de operação, assim como os custos decorrentes do *Down Time*, nomeadamente os associados a coimas.

A implementação destas metodologias exige informação e critérios de estruturação e hierarquização de equipamentos que permita uma abordagem coerente.

A partir da metodologia típica da análise RAM, é viável uma aproximação analítica à manutenção. É muito mais fácil tipificar as intervenções, as avarias e/ou ocorrências, que após análise irão revelar a quantificação dos parâmetros assumidos na fase de projecto. Este é o método mais seguro, porquanto permite cobrir de forma mais efectiva o conjunto de todas as opções possíveis de ocorrer durante a vida útil do equipamento.

Se existir um sistema de informação para suportar a gestão de equipamentos, esta aproximação irá definir a configuração das instalações e sistemas, isto é, a disposição e combinação dos seus componentes que permitem cumprir as especificações operacionais pretendidas para esse componente, garantindo a existência de documentação (desenhos, especificações e manuais de operação), os planos de manutenção, inspecção, lubrificação e teste.

Com base na abordagem RAMS, será gerada uma codificação e estruturação que será utilizada para configurar no sistema de informação, as instalações e equipamentos, de modo a suportar verificações posteriores entre os pressupostos tomados na análise RAM e o desempenho “*red*” reportado. O sistema ir-se-á metamorfoseando à medida que for integrando mais informação, derivando de um sistema de cadastro para um sistema de gestão de equipamentos e manutenção.

Po isso, deve centralizar-se a gestão das intervenções, integrar a informação técnica e articular com a gestão de materiais de armazém, de forma a apurar os custos havidos com as intervenções, sejam elas do tipo correctivo, preventivo ou outra.

A aproximação RAM é idêntica à RCM, mas de ordem mais aprofundada, configurando no sistema informático o **Plano de Apoio Logístico Integrado**, que engloba:

- Plano de Exploração;
- Plano de Manutenção, Plano de Inspeção e Plano de Lubrificação;
- Plano de Aprovisionamento, Gestão de Peças de Substituição e Consumíveis;
- Plano de Controlo de Fiabilidade;
- Plano de Controlo de Eficiência da Exploração/Manutenção;
- Plano de Formação.

2.5 Tipos de intervenção da manutenção

2.5.1 Manutenção planeada e manutenção não planeada

De acordo com a forma de actuar em relação a uma dada avaria ou anomalia, as intervenções de manutenção podem ser, essencialmente, de duas naturezas:

- **Manutenção não planeada**, no caso em que as avarias ocorrem de forma súbita e imprevisível;
- **Manutenção planeada**, no caso de a degradação de um dado equipamento se dar de uma forma progressiva, de que é exemplo um ruído crescente e, portanto, permitir o planeamento da acção de manutenção no momento mais oportuno.

Neste sentido, a manutenção não planeada terá como solução, uma intervenção curativa. Por sua vez, a manutenção planeada poderá assumir uma intervenção preventiva ou correctiva/curativa, sendo certo que a preventiva poderá ser sistemática ou condicionada, conceitos que se esclarecem de seguida.

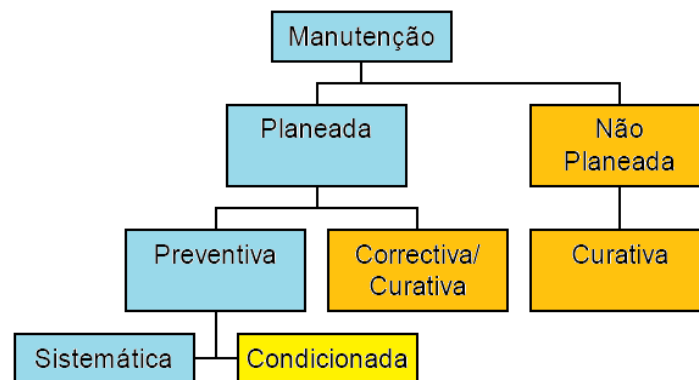


Fig. 12 – Diagrama dos tipos de intervenção da manutenção [34]

2.5.2 Manutenção curativa ou paliativa e manutenção de melhoria

A manutenção curativa é efectuada após a constatação de uma anomalia num componente, com o objectivo de restabelecer as condições que lhe permitam cumprir a sua missão. Como é o caso de uma anomalia se verificar de forma súbita, interrompendo o funcionamento do equipamento. Dizemos, neste caso, que ocorreu uma avaria catalítica e a manutenção tem de intervir de emergência.

Quando o restabelecimento das condições de funcionamento só é possível através de alguma alteração ao equipamento ou quando as condições de manutenção, tendo em vista a melhoria da manutibilidade e/ou da fiabilidade, recomendam que essas alterações se façam, diz-se que a manutenção é **correctiva ou de melhoria**.

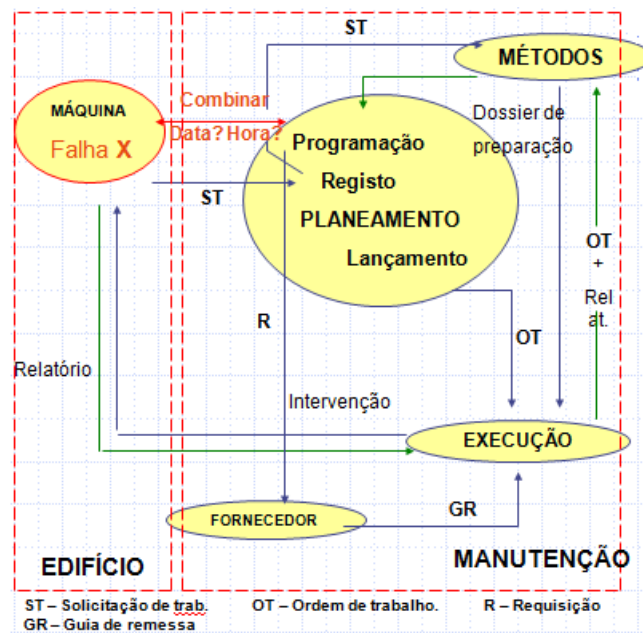


Fig. 13 – Processo de funcionamento do sector manutenção OT correctivo [31]

2.5.3 Manutenção preventiva sistemática

As intervenções de manutenção preventiva sistemática desencadeiam-se periodicamente, com base no conhecimento da lei de degradação aplicável ao caso do componente particular e de um risco de falha assumido.

Um exemplo típico de tarefas que são efectuadas em regime de manutenção preventiva sistemática é o que respeita às operações de lubrificação. Entre elas contam-se as mudanças de óleo para equipamentos de pequeno e médio porte e as chamadas rotinas de lubrificação.

As rotinas diárias saem sob a forma de programa, constituído por uma lista organizada segundo o melhor percurso onde cada linha assinala uma rotina indicando o responsável

pelo trabalho. A ordenação desta lista tem em consideração o melhor itinerário na instalação podendo ainda contemplar a agregação lógica de funcionamento, produtos ou métodos de lubrificação.

2.5.4 Manutenção preventiva condicionada

As intervenções por controlo de condição desencadeiam-se no fim de vida útil dos componentes – momento em que é possível prever, medindo as tendências dos parâmetros que reflectem a sua degradação, através das técnicas de controlo de condição, a taxa de degradação do componente até ao eventual colapso/falha.

De acordo com esta filosofia de manutenção, deve proceder-se ao controlo sistemático da condição dos equipamentos através da medição de parâmetros que o caracterizam de modo a detectar as situações em que se ultrapassam os valores de referência para os parâmetros seleccionados, o que significa estar-se perante uma situação de início de avaria.

A detecção de anomalias pode ser obtida de várias formas: análises de vibrações, de Termografia, Análise de parâmetros de rendimento, Inspeção visual, Análise ultrasónica, contaminantes nos óleos, ou ainda, de acordo com a natureza das anomalias, por ultrasonografia, líquidos penetrantes ou outras formas de diagnóstico.

A *manutenção condicionada* difere da *manutenção sistemática* por se passar da execução de uma manutenção de forma sistemática para a execução de um controlo de condição de forma sistemática, executando-se a manutenção só quando esta se torna necessária.

2.6 Manutenção aplicada ao sistema AVAC no âmbito do SCE

O RSECE [4] veio igualmente definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando, igualmente, à realização de auditorias, manutenções e inspecções periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes.

2.6.1 Técnicos responsáveis

Os técnicos previstos no RSECE [4] são os técnicos responsáveis pelo funcionamento (TRF), e os técnicos de instalação e manutenção de sistemas de climatização (TIM II e TIM III) e de Qualidade do Ar Interior – QAI (TQAI).

O TRF é responsável pelo bom funcionamento dos sistemas energéticos de climatização, incluindo a sua manutenção, e pela QAI, bem como pela gestão da respectiva informação técnica. Estes técnicos são indicados pelo proprietário, pelo locatário, ou pelo usufrutuário ao organismo responsável pelo SCE. O proprietário promove a afixação, no edifício ou fracção autónoma, com carácter de permanência, da identificação do técnico responsável, em local acessível e bem visível.

A montagem e a manutenção dos sistemas de climatização e de QAI são acompanhadas por um TIM II, no caso de sistemas até 100 kW, ou por um TIM III, no caso de sistemas com mais de 100 kW e por um TQAI, ou por um técnico que combine ambas as valências.

Concretamente, os técnicos de instalação e manutenção de sistemas de climatização têm, entre outras, as seguintes intervenções:

- Instalação/Colocação do equipamento;
- Montagem de redes;
- Arranque e recepção da instalação;
- Manutenção preventiva;
- Diagnóstico e reparação.

Os técnicos de QAI têm, entre outras, as seguintes intervenções:

- Higienização de sistemas;
- Limpeza de condutas;
- Recolha de amostras;
- Medição de parâmetros da QAI;
- Higienização de torres de arrefecimento e sistemas de humidificação.

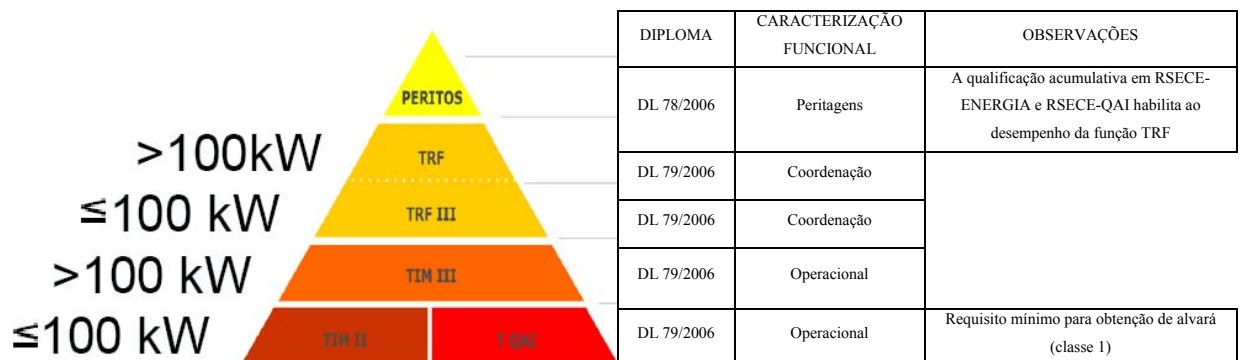


Fig. 14 – Técnicos responsáveis pela manutenção [36]

2.6.2 Concepção do Plano de Manutenção Preventiva

O *Plano de Manutenção Preventiva* [4] deve ser elaborado e mantido permanentemente actualizado sob a responsabilidade do TRF do edifício, com as qualificações e competências acima definidas, devendo constar do mesmo, pelo menos os seguintes elementos:

- Identificação completa do edifício e sua localização;
- Identificação e contactos do técnico responsável;
- Identificação e contactos do proprietário e, se aplicável, do locatário;
- Descrição e caracterização sumária do edifício e dos respectivos compartimentos interiores climatizados, com a indicação expressa;
- Tipo de actividade nele habitualmente desenvolvida;
- Do número médio de utilizadores, distinguindo, se possível, os permanentes dos ocasionais;
- Área climatizada total;
- Potência térmica total;
- Descrição detalhada dos procedimentos de manutenção preventiva dos sistemas energéticos e da optimização da QAI, em função dos vários tipos de equipamentos e das características específicas dos seus componentes e das potenciais fontes poluentes do ar interior;
- Periodicidade das operações de manutenção preventiva e de limpeza;
- Nível de qualificação profissional dos técnicos que as devem executar;
- Registo das operações de manutenção realizadas, com a indicação do técnico ou técnicos que as realizaram, dos resultados das mesmas e outros eventuais comentários pertinentes;
- Registo das análises periódicas da QAI, com indicação do técnico ou técnicos que as realizaram.
- Definição das grandezas a medir para posterior constituição de um histórico do funcionamento da instalação;
- Livro de registo de ocorrências;
- Esquemas de princípio (diagramas) nas centrais;
- Informação de condução e planos de contingência.

Para além do conteúdo obrigatório, sempre que aplicável, um PMP deverá registar também os seguintes procedimentos:

- Inventário e codificação das instalações;
- Fichas técnicas de equipamentos;

- Fichas de funcionamento dos equipamentos;
- “Famílias” de equipamentos;
- Programas específicos de manutenção;
- Planeamento do serviço;
- Pedidos de trabalho sistematizados;
- Aperfeiçoamento do plano e rotinas;
- Registos tipo (mapas) de consumos energéticos e de funcionamento.

Após implementado um sistema de organização e o seu suporte informático [41], do tipo SIGH (Sistemas Integrados de Gestão Habitacional) ou outros do tipo SIM (Sistema Integrado de Manutenção), há, em geral, uma série de passos a percorrer no sentido de melhorar o desempenho. É conveniente, durante a fase de exploração, rever os pressupostos que originaram os planos de manutenção iniciais e equacionar de novo a sua necessidade e adequação. É importante que este processo seja dinâmico, por isso, há que rever e otimizar os planos de manutenção adequando-os à realidade de exploração e tendo em conta o desempenho dos equipamentos (fiabilidade medida com base no histórico).

2.6.3 Acções da manutenção e inspecções nos sistemas AVAC

A meta da manutenção e das inspecções tem importância fulcral na vida dos equipamentos de AVAC, pois permite:

- Avaliar o estado actual do equipamento ou bem;
- Determinar as causas do seu desgaste;
- Especificar as acções de manutenção requeridas;
- Entender o próprio futuro do desgaste.

Há um amplo conjunto de técnicas de controlo de condição de máquinas e equipamentos com aplicação na manutenção também aqui consideradas importantes, os quais se destacam no ponto 2.5.4 – Manutenção preventiva condicionada,

Genericamente, os equipamentos de AVAC dividem-se nos seguintes sistemas:

Os Sistemas Primários são equipamentos geradores de calor e frio que, por sua vez, através de bombas e ventiladores, alimentam um subsistema ou sistema secundário. Como sistemas primários podem referir-se:

- Chiller – Equipamento produtor de frio;
- Bomba de Calor – Equipamento produtor de calor ou frio;
- Caldeira – Equipamento produtor de calor;
- Depósitos de Inércia – Equipamento conservador de calor ou frio;
- Torres de arrefecimento.

Os Sistemas Secundários, também chamados sistemas de distribuição ou captação de energia, englobam quer as unidades terminais, como por exemplo, ventiloconvectores e splits, quer as UTA's e as UTAN's, que são equipamentos de tratamento de ar novo destinados primordialmente a fazer a movimentação e tratamento térmico e higrométrico nas instalações de aquecimento, arrefecimento, ventilação e ar condicionado, de acordo com parâmetros de conforto pré-definidos.

Estes equipamentos necessitam de manutenção e, inclusive, serão alvo de análise e investigação neste trabalho.

As metodologias a aplicar em cada um dos casos depende do tipo de equipamento ou sistemas de climatização, sistemas de aquecimento, chillers e outros sistemas. Como exemplos, poderemos ter a seguinte abordagem relativamente às caldeiras, sistemas de aquecimento e de ar condicionado:

Caldeiras:

- Identificação da caldeira;
- Recolha de documentação;
- Verificação da existência e qualidade do PMP;
- Inspeção visual; Ensaio de funcionamento;
- Equipamentos de medição e controlo;
- Verificação de consumos;
- Avaliação do desempenho da caldeira.

Sistemas de aquecimento:

- Preparação da inspeção;
- Identificação do sistema de aquecimento;
- Verificação da existência e qualidade do PMP;
- Verificação do funcionamento;
- Equipamentos de medição e controlo;

- Emissores;
- Controlo de Emissores;
- Distribuição;
- Produção;
- Dimensionamento do sistema de produção;
- Rendimentos dos subsistemas;
- Sistemas de AQS;
- Relatório e aconselhamento.

Sistemas de ar condicionado:

- Verificação de documentação;
- Identificação dos equipamentos;
- Verificação da existência e qualidade do PMP;
- Inspeção visual;
- Ensaio de funcionamento;
- Verificação de consumos;
- Avaliação do desempenho dos subsistemas e equipamentos;
- Relatório e aconselhamento.

O maior investimento é nos equipamentos primários que são aqueles que têm uma maior necessidade de manutenção, permanente e contínua.

A manutenção não é complicada mas, face ao grande número de equipamentos, torna-se dispendiosa.

É objecto de análise neste trabalho, avaliar o índice de eficiência energética provocada pela falta de manutenção específica nas UTA's, que será aprofundada nos próximos Capítulos.

CAPITULO III – Efeitos da manutenção nas UTA's e UTAN's

3.1 UTA's e UTAN's

As Unidades de Tratamento de Ar (UTA's) e ar Novo (UTAN's) existem em larga escala por todo o País e são cada vez mais utilizadas, sendo de enorme importância a sua referência neste trabalho, uma vez que, este incidirá sobre alguns dos seus componentes e correspondentes gastos energéticos decorrentes da falta de manutenção. Assim, pretende-se integrar o objecto de estudo desta dissertação [21].

A UTA mais utilizada e aplicada, nos dias de hoje, é a chamada UTA de duplo fluxo, na qual, os diferentes sensores e respectiva localização (Fig. 15) permitem um controlo das condições de pressão, temperatura e higrometria do ar, mantendo o princípio de funcionamento para o qual foram projectados.

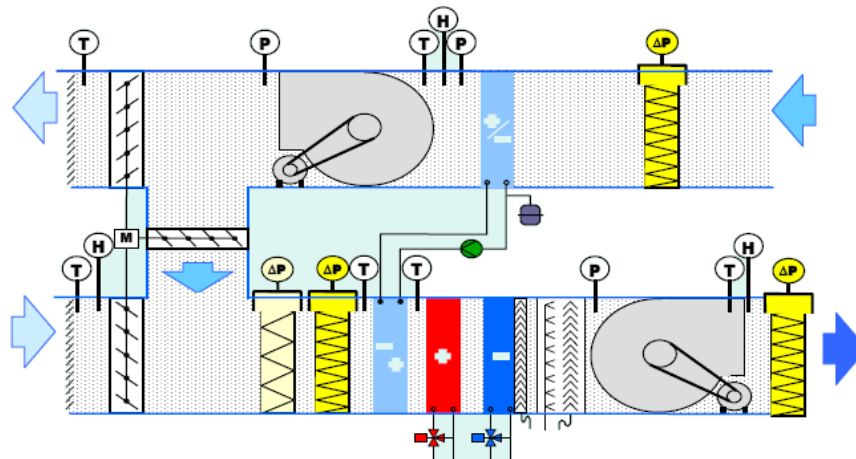


Fig. 15 - UTA duplo fluxo, localização de sensores e componentes [36].

A UTA é construída com perfis de alumínio extrudido sendo os painéis e as portas de acesso constituídas por materiais do tipo “sandwich” em chapa e isolamento no seu interior, observando a norma EN 1886.

3.2 Principais componentes das UTA's e UTAN's

As UTA's e UTAN's são constituídas por um conjunto de componentes que podem, a título exemplificativo, identificar-se de acordo com a ilustração (Fig. 16) e correspondente legenda (Tabela 1), apresentada de seguida:



Fig. 16 – Identificação dos componentes típicos existentes em UTA's [36]

1-Registo motorizado de ar novo	10-Atenuador acústico de insuflação com 20 dB (A) (250 Hz)
2-Sensor de temperatura de ar novo	11-Filtro F9 e pressostato
3-Pré-filtro G4 com 50mm e pressostato de ar novo	12-Bateria de expansão directa
4-Registo motorizado do recuperador e do by-pass do recuperador	13-Sensor de temperatura de retorno
5-Recuperador de calor de fluxos cruzados	14-Pré-filtro G4 com 50mm e pressostato de retorno
6-Sensor de temperatura de mistura	15-Atenuador de som de retorno com 20 dB (A) (250Hz)
7-Registo motorizado de mistura	16-Ventilador Plug-fan de retorno
8-Quadro eléctrico de potência e controlo	17-Registo motorizado de exaustão
9-Ventilador Plug-fan de insuflação	Opcionais: humificador, filtros de saco no retorno, e sonda de QAI.

Tabela 1 – Lista de componentes típicos existentes em UTA's

De entre os componentes enumerados anteriormente (Tabela 1), destacam-se pela sua importância, em termos de manutenção e que podem prejudicar a eficiência da UTA:

- Os Filtros que acumulam poeiras ou partículas de diversos tamanhos, conforme necessidades de filtragem de ar exterior e interior, contribuindo a sua falta de

manutenção para o aumento da perda de carga na UTA (Fig. 17 e Tabela 2 – Escolha do grupo de filtragem [36]).

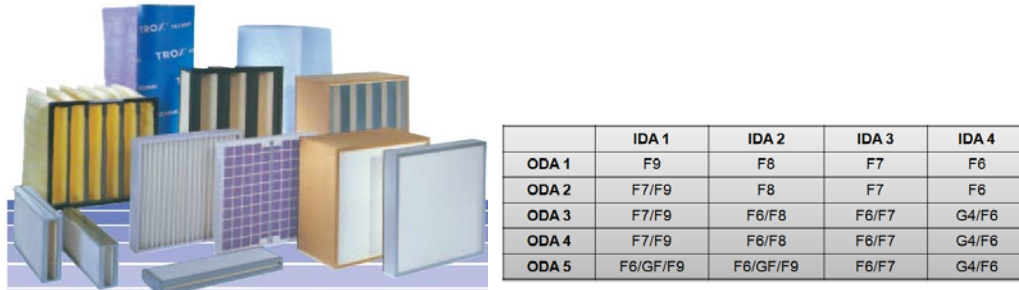


Fig. 17 e Tabela 2 – Escolha do grupo de filtragem [36]

Através das disposições consagradas na EN 779, EN 1822, na Eurovent 415 e na experiência prática [6], consegue obter-se:

- A perda de carga através dos filtros;
- O caudal debitado pelos ventiladores;
- A pressão estática dos ventiladores;
- A potência eléctrica requerida pelos ventiladores.

O estudo deste componente é objecto de continuação de uma experiência já previamente desenvolvida noutra tese [6].

- Os Registos são dispositivos que têm por função controlar e gerir os caudais de ar, fazendo o seu balanceamento, misturas e correcções dos mesmos, estando afectos aos sistemas de tratamento de ar. Para que estas funções sejam equilibradas, os registos modificam as suas posições movendo-se por acção mecânica, deixando passar mais ar ou menos ar, conseguindo assim, reduzir o consumo de energia, quer de aquecimento, quer de arrefecimento e alcançar arrefecimento gratuito – “*Free Cooling*” – quando necessário. O seu deficiente funcionamento pode gerar obstrução à passagem do ar provocando uma redução no caudal (com consequências na eficiência energética) ou velocidade excessiva geradora de perturbações acústicas. Este componente não será objecto de análise nesta tese.
- Os Ventiladores podem ser de acoplamento directo ou indirecto (sendo nesta tese alvo de análise no sistema de tracção por correias) [6]. Os ventiladores existentes no mercado são cada vez mais eficientes. Actualmente, é possível encontrar em

UTA's ventiladores do tipo plug-fan com motor ECM (controlador electrónico) que facilita a ligação directa a sensores, bem como a operação através de actuadores com sinal de 0-10V.



Fig. 18 – Ventiladores de acoplamento por correia (figura da esquerda); e ventiladores Plug-fan (figura da direita) – maior economia menor geração de partículas [36]

- Permutador ar/água (objecto de estudo nesta dissertação) e recuperadores ar/ar (objecto de estudo futuro).
Os permutadores de calor (ar/água) são constituídos por feixes de tubos de cobre sem costura e alhetas em alumínio [23] [20].

Baseados no mesmo princípio de funcionamento dos recuperadores, os permutadores de calor encontram-se nas UTA's e UTAN's com o nome de baterias de aquecimento e arrefecimento, nos termos das normas EN 307, EN 1048 e EN 1148.

Os sistemas de recuperação modernos aproveitam a energia térmica contida no ar e que pode ser transferida para o ar novo (aquecendo-o) através de uma troca de calor não misturado, vulgarmente denominados por recuperadores de calor [24].

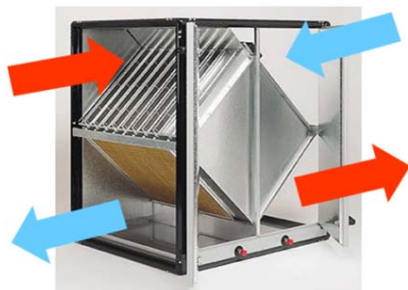


Fig. 19 – Recuperador de calor [36]



Fig. 20 – Exemplo de permutador de calor [36]

- Os humidificadores são fundamentais para corrigir humidades, sendo também denominados baterias de humidificação. Usam um meio evaporativo que inclui água, utilizam um contacto directo com o ar e são uma fonte potencial de contaminação, favorecendo o crescimento de organismos microbiológicos que afectam a qualidade do ar. São absolutamente necessários cuidados de manutenção preventiva (Capítulo II), para evitar a sua dispersão no ambiente interno.

A limpeza dos pulverizadores, dos dispositivos de esgoto, drenagem da turbina de insuflação e a limpeza do filtro, são tarefas que devem ser obrigatoriamente incluídas no plano de manutenção [19] [26].

Estes componentes não serão objecto de análise neste trabalho.

- Os atenuadores acústicos são usados para evitar o ruído e a propagação do mesmo. São equipamentos que necessitam de alguma manutenção, nomeadamente, nos aspectos da qualidade do ar e da retenção de partículas (não serão objecto de análise).
- Os controlos são equipamentos de monitorização que vão estar nas UTA's e UTAN's para controlar certos parâmetros do ar (neste caso concreto, não serão objecto de análise, dado que não terem riscos de manutenção nem de deterioração na passagem do ar) [14].
- Todos os outros equipamentos genéricos como tabuleiros de condensados, bombas de circulação [9], zonas de apoios de ventiladores, estrutura da UTA [21] (EN 1886), condutas (EN 12097), circuito hidráulico [9] e permutadores de ar frigorígeno não serão objecto de análise.

3.3 A manutenção nas UTA's e UTAN's

Os problemas de manutenção nas UTA's e UTAN's podem ser os mais variados, desde problemas de deposição de partículas, quer nas condutas de admissão de acesso às UTA's e UTAN's, quer nas próprias UTA's e UTAN's, quer dentro dos próprios permutadores.

As figuras seguintes (Fig. 21) mostram os efeitos visíveis da falta de manutenção e que têm influência quer do ponto de vista energético, quer do ponto de vista da qualidade do ar interior.



Fig. 21 – Imagens do interior de UTA's, condutas e bateria/permutador [36]

Existem algumas condutas que evidenciam bem a situação caótica da falta de manutenção. As figuras seguintes (Fig. 22) mostram o interior de condutas e as consequências da sua falta de manutenção.



Fig. 22 – Pássaros encontrados dentro de uma conduta de climatização e filtros totalmente colmatados [36]

Estas situações, além de serem prejudiciais a nível económico, também podem trazer consequências ao nível da saúde dos indivíduos (qualidade do ar interior).

A manutenção deve ser cumprida obrigatoriamente, uma vez que, consiste num conjunto de acções que permite manter ou restabelecer um bem/equipamento, dentro de um estado específico de conservação ou assegurar um determinado serviço, conforme foi apresentado no Capítulo II.

Nas figuras anteriores (Fig. 21 e Fig. 22) evidencia-se a falta de manutenção existente nestes equipamentos.

Por sua vez, as figuras seguintes (Fig. 23) evidenciam o óptimo que se pretende atingir, devendo promover-se o cumprimento dos planos de manutenção em todos os seus pontos, assim como a atitude tomada inicialmente em projecto, não esquecendo a abertura de acessos para manutenção e acessibilidade aos equipamentos, como colocação de janelas de visita nas condutas e a garantia de limpeza com recurso a robôs ou outros dispositivos de limpeza – EN 12097. A manutenção deve, ainda, assegurar essas operações a um custo global optimizado [16].

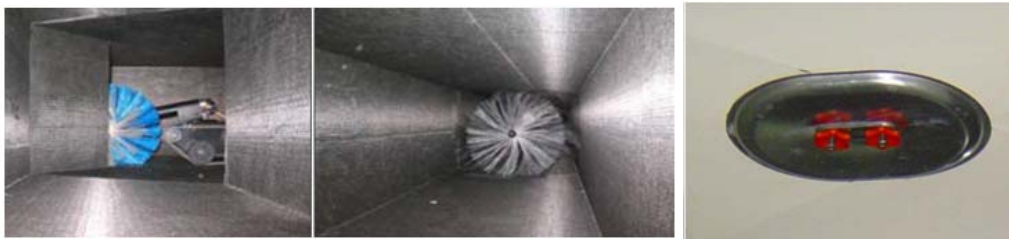


Fig. 23 – Limpeza com robot e janelas de visita em condutas [36]

3.4 Metodologia desenvolvida [6] e objecto de análise.

Para alguns dos principais equipamentos já existem metodologias de avaliação do efeito da perda de eficiência, quer devido à sua deterioração, quer pela falta de manutenção. Nessas metodologias [6], estabeleceu-se um modelo teórico-prático, baseado em experiências, que através de um conjunto de equações possibilitaram o estabelecimento de correlações que permitem determinar a degradação da eficiência ao longo do tempo de funcionamento de equipamentos nos quais não exista manutenção.

Os dados fornecidos [6] permitiram a elaboração dos gráficos que se apresentam de seguida: gráficos de perdas energéticas e de consumos em ventiladores (devido às correias de acoplamento), e filtros (devido à colmatação ao longo do tempo).

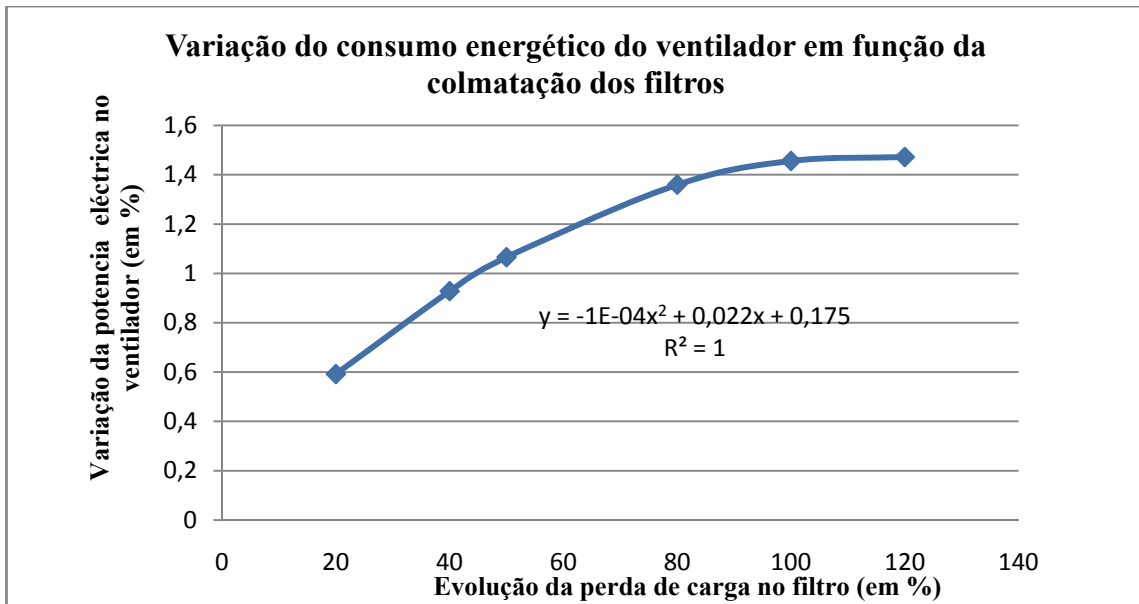


Gráfico 1 – Variação do consumo energético do ventilador em função da colmatção dos filtros [6]

É possível, através da unidade de deterioração do equipamento e com o tempo de utilização, saber qual a perda de eficiência do equipamento e conhecer a sua variação.

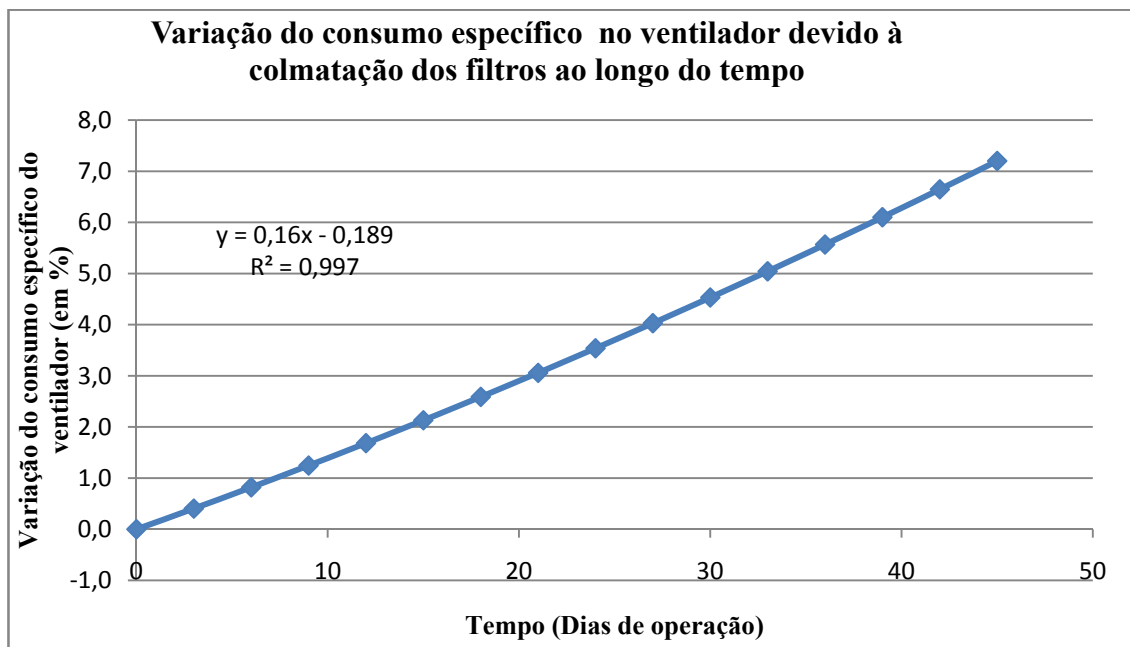


Gráfico 2 – Variação do consumo específico no ventilador devido à colmatção dos filtros ao longo do tempo [6]

Abreviando-se o trabalho realizado em [6], este incidu na recolha de dados sobre situações de consumos iniciais relativos a desalinhamentos e deflexões das correias, retirando-se valores no decorrer de 45 dias para deflexões e 90 dias para desalinhamentos. Esses dados permitem comprovar que existe uma maior deflexão para um menor desalinhamento ao longo do tempo.

Os caudais de insuflação e de ar novo foram determinados a partir da velocidade do ar e das áreas efectivas, quer da conduta de insuflação, quer da grelha de admissão de ar novo, através da equação (4.1) [6].

$$Q = v \times A \times 3600 \quad (3.1)$$

Deflexão correias

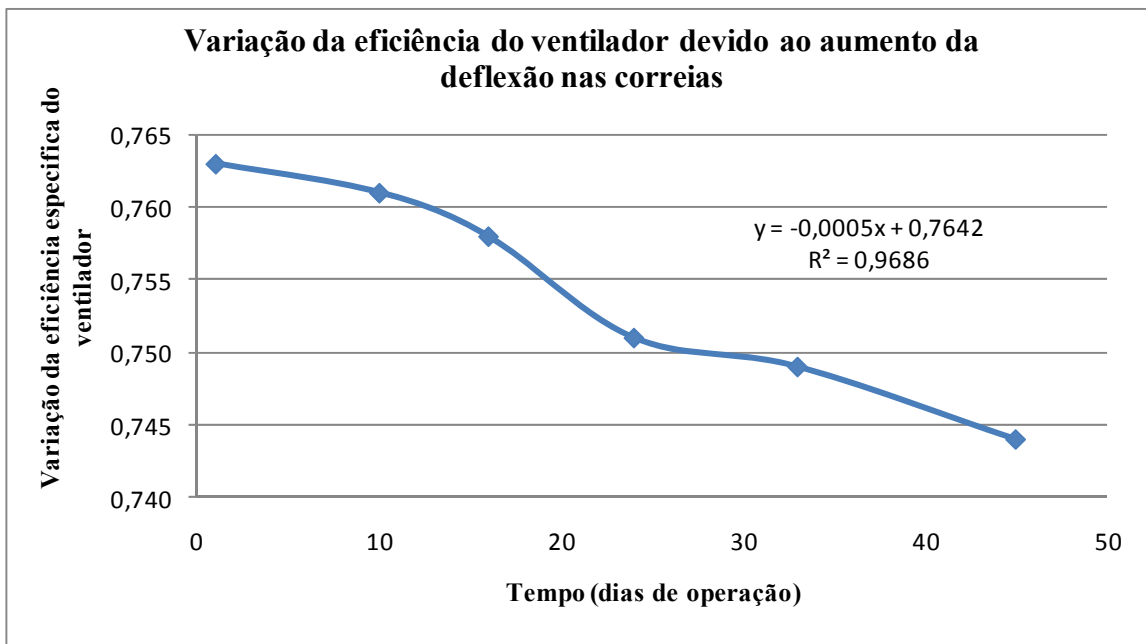


Gráfico 3 – Variação da eficiência do ventilador devido ao aumento da deflexão nas correias ao longo do tempo [6]

Para o cálculo da potência transmitida ao ar utilizou-se a seguinte expressão [6]:

$$P = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{\eta} \quad (3.2)$$

Embora análogos, foram seleccionados dois gráficos que traduzem o trabalho de análise desenvolvido na tese anterior [6] e de desenvolvimento nesta tese, no sentido de encontrar uma recta ou polinómio que traduza, de uma forma geral, a perda de eficiência

destes componentes em relação a uma evolução percentual. Essa evolução foi alcançada de acordo com as leituras retiradas e o seu aumento gradual e percentual, notando-se a sua linearidade.

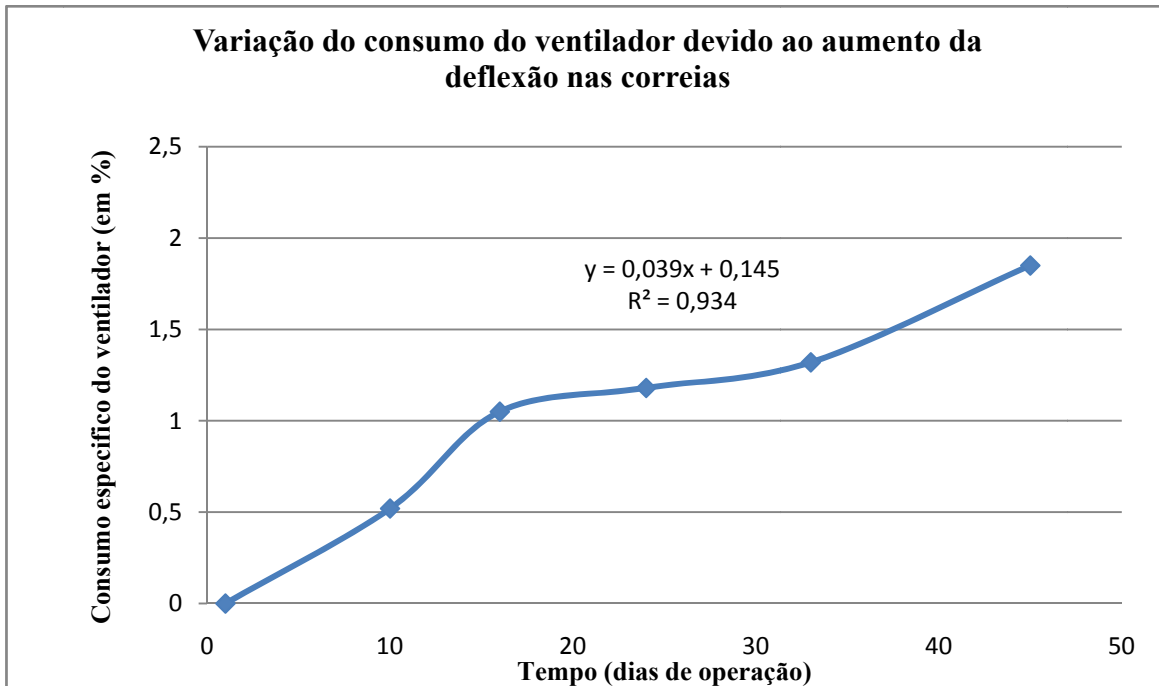


Gráfico 4 – Variação do consumo do ventilador devido ao aumento da deflexão nas correias ao longo do tempo [6]

Desalinhamento correias

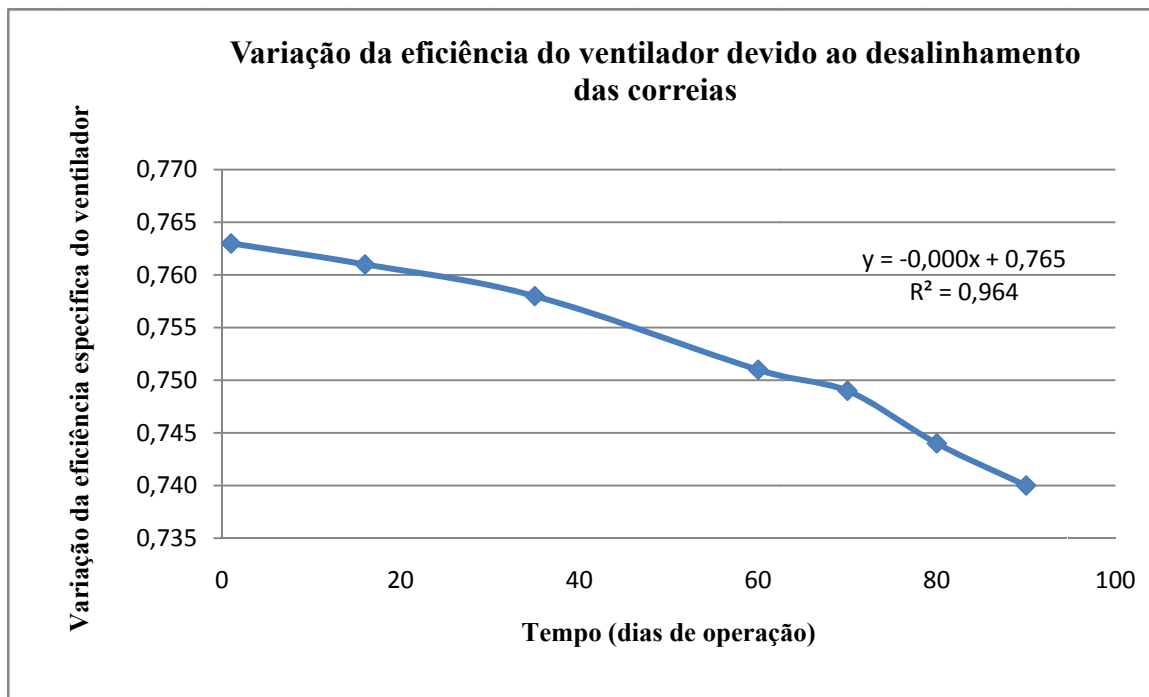


Gráfico 5 – Variação da eficiência do ventilador devido ao desalinhamento das correias [6]

Relativamente ao desalinhamento e aos pontos de amostragem retirados da experiência, procedeu-se do mesmo modo, como anteriormente descrito, obtendo-se o Gráfico 6.

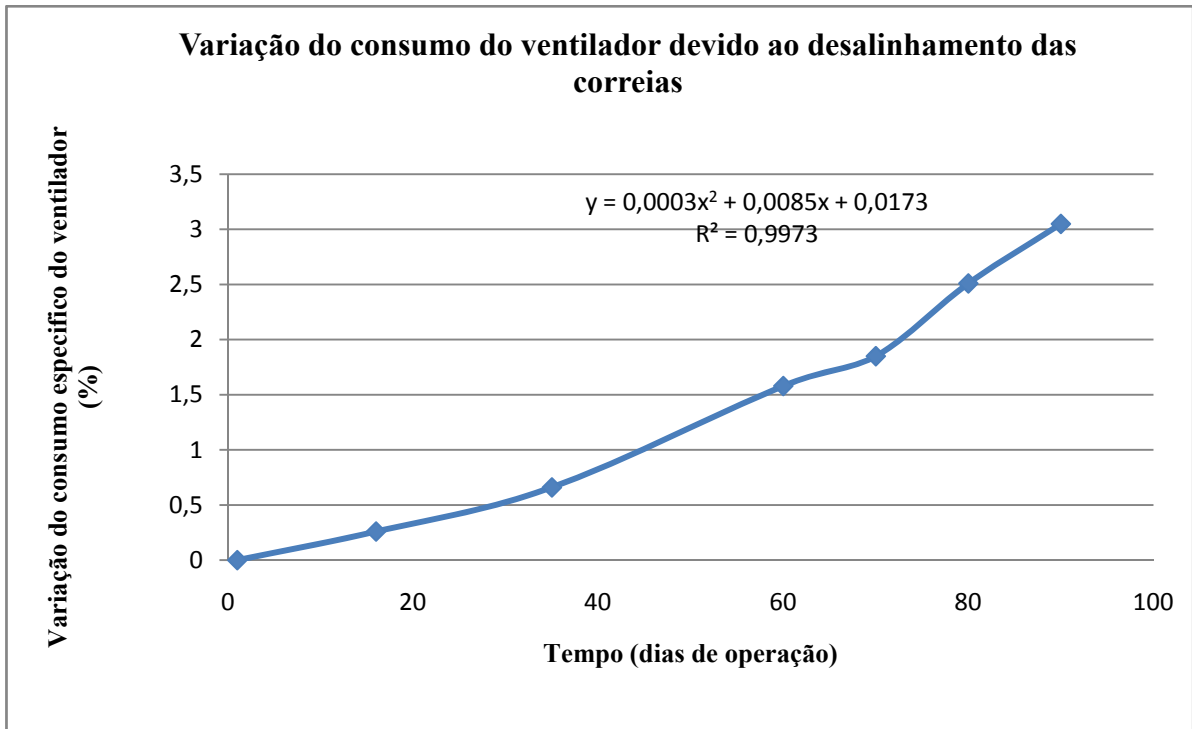


Gráfico 6 – Variação do consumo do ventilador devido ao desalinhamento das correias ao longo do tempo [6]

Face à quantidade de equipamentos que existem numa UTA/UTAN, enumerados anteriormente, e tendo em conta a influência que esses equipamentos têm no desempenho e na sua eficiência, é objecto de análise deste trabalho, quer na continuação de estudos que já foram elaborados, quer através do trabalho aqui apresentado, analisar, de forma detalhada, a contribuição desses elementos para a eficiência energética nos seguintes equipamentos: filtros; ventiladores e respectivos sistemas de acondicionamento (Gráfico 1 a Gráfico 6); continuando este desenvolvimento no Capítulo seguinte, como permutadores de calor ar/água e respectivos circuitos hidráulicos associados, nomeadamente, aos sistemas de bombagem de água do circuito primário para permutador; sendo desenvolvido um modelo teórico de análise do efeito de acumulação de sujidade e de incrustações nos permutadores.

CAPITULO IV – Metodologia de avaliação do efeito das incrustações nos permutadores de calor das UTA’S.

Seguindo as matérias sugeridas em [6] para análise e desenvolvimento em trabalhos futuros, o caso de estudo, aqui em investigação, centra-se na análise da evolução de uma metodologia para um componente ou equipamento que tem influência directa na eficiência da UTA, na qual está inserido: “o permutador”.

Os permutadores estão sujeitos a acumulação de sujidades e consequentes incrustações, quer pelo interior (lado da água), quer pelo exterior (lado do ar), provocadas pela falta ou deficiente manutenção.

O ponto de partida será avaliar todo o sistema de aquecimento que se desencadeia numa UTA/UTAN, o que poderá contribuir para que a transferência de calor se deteriore, quais as consequências energéticas dessa deterioração e o que poderá ser feito para a evitar no contexto da manutenção.

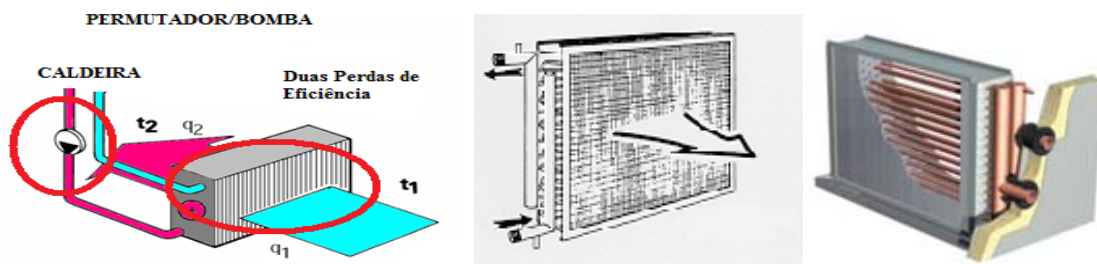


Fig. 24 – Caso de estudo [36]

4.1 Incrustações

As incrustações são deposições ou precipitações sólidas, de natureza alcalina, que ocorrem nas superfícies internas dos permutadores. Provocam redução na transferência de calor, aumento no consumo de combustível, aumento da temperatura da superfície dos metais por sobreaquecimento e eventuais rupturas da estrutura.

Normalmente, com a elevação da temperatura ocorre uma maior dissolução das substâncias sólidas na água. Porém existem substâncias que apresentam difícil dissolução, e as que, com um aumento da temperatura, se tornam cada vez menos solúveis, como é o caso do CaSO_4 (sulfato de cálcio). Outras substâncias como o CaCO_3 (carbonato de cálcio), mesmo aumentando a temperatura conservam a sua solubilidade quase que inalterada.

As substâncias atrás mencionadas são as que mais se encontram nas águas de alimentação dos permutadores e, como tal, representam um potencial elevado para o aparecimento de incrustações.

Na parte interna dos permutadores, estes compostos sofrem reacções químicas, tornando-se insolúveis à medida que aumenta a concentração da água. Estes sólidos e substâncias cuja solubilidade diminui com o aumento de temperatura aderem à superfície de aquecimento formando as incrustações superficiais. Assim, as principais causas da existência de depósitos em permutadores são:

- Excesso de impurezas presentes na água de alimentação;
- Processo de corrosão que forma subprodutos que se depositam;
- Condensado ou vapor contaminados;
- Tratamento químico aplicado inadequadamente.

Como consequência da presença de incrustações podemos citar:

- Sobreaquecimento dos tubos,
- Perda de rendimento,
- Possível ruptura da tubulação,
- Maior consumo energético,
- Ataque cáustico,
- Fragilidade por hidrogénio,
- Obstrução ao fluxo de água.

As incrustações no interior das paredes dos tubos, embora sendo um processo mais lento, são também motivo do declínio do desempenho térmico ao longo do tempo. Devem ser adoptados, uma vez por ano, cuidados de manutenção especiais que tenham em consideração este aspecto. A verificação da estanqueidade do circuito de alimentação às baterias, de pontos de corrosão e da operação das válvulas reguladoras do caudal devem ser cuidados a observar no plano de manutenção programada [22].



Fig. 25 e Fig. 26 Incrustações, exteriores e interiores de tubagens de um permutador [40].

Depois de um período de operação, as superfícies de transferência de calor de uma bateria podem ficar cobertas por partículas presentes nos escoamentos, por contaminantes que aderem às superfícies húmidas no caso das baterias de arrefecimento ou sofrer um processo de corrosão resultante da interacção entre os fluidos e o material utilizado na construção da bateria.



Fig. 27 e Fig. 28 – Incrustações em permutadores e caldeiras [40].

Qualquer depósito nas superfícies externas dos tubos actua como isolante térmico e diminui o coeficiente global de transferência de calor [19]. De qualquer forma, o aumento das incrustações representa uma resistência adicional ao fluxo de calor e, portanto, um decréscimo no desempenho do equipamento. O efeito global é geralmente representado por um factor de incrustação (R_f) ou resistência de incrustação, que deve ser considerado juntamente com as outras resistências térmicas no coeficiente global de transferência de calor [25].

O mecanismo de incrustação das superfícies das baterias é muito complexo e não existem técnicas fiáveis para a sua previsão. Quando uma bateria nova é colocada em funcionamento e não é efectuada a manutenção necessária ao longo do tempo, o seu rendimento deteriora-se progressivamente em virtude do desenvolvimento da resistência de incrustações. A falta de manutenção e limpeza, quer dos filtros que se encontram a montante da bateria, quer a falta de limpeza da própria bateria (interior e exterior dos tubos), estão entre os factores que afectam directamente a taxa de incrustações [22].

O permutador de calor é constituído por feixes de tubos de cobre (material de elevada condutibilidade térmica) que estão sempre sujeitos a solicitações de elevadas tensões mecânicas e corrosão química. Assim sendo, a falta de manutenção e o seu prolongamento irão permitir a acumulação de sujidades e impurezas, surgindo corrosões e incrustações limitadoras da transferência de calor, e aumentando, desta forma, as perdas térmicas nas baterias de aquecimento/arrefecimento.

Embora, muitas vezes, as incrustações não sejam consideradas importantes no conjunto das perdas totais da UTA/UTAN, podem, em determinadas condições, tornar-se penalizantes, particularmente, se a circulação de ar é inadequada, isto é, se não for igualmente distribuída em toda a superfície de troca, o que faz com que a superfície funcione menos eficientemente (menor rendimento de transferência de calor).

Por outro lado, o ar que passa sobre a bateria, conforme a sua velocidade, influencia o valor de U (coeficiente global de transferência de calor) e a diferença efectiva média de temperatura [8].

Com base nos valores de variação das velocidades e dos coeficientes convectivos de transferência de calor e de acordo com a Fig. 29 é possível estimar o efeito das incrustações no desempenho energético desenvolvido na tubagem de um permutador.

A parametrização de todo o processo de cálculo resume-se à aplicação de expressões e correlações de F.Taylor, Dittus-Boelter e Churchill-Bernstein, considerações de velocidades, temperaturas, diâmetros, condições iniciais dos fluídos circundantes ao tubo de cobre não alhetado SS302.

Tomando por base o coeficiente de condução do cobre de (R_w 400 W/m.K), e atribuindo para uma temperatura interior, lado da água e inicial do fluído ($T_{m,i}$ 75°C ou 348K), velocidade de ($V_{m,i}$ 0,5m/s) com valores para o lado do ar de temperatura (T_o 15°C 288K) e velocidade (V_o 20 m/s), atendendo à Tabela A4 Incropera [8] e Tabela A6 Incropera [8], em anexo, iniciamos a metodologia aqui apresentada, tentando simular as deposições que acontecem na realidade num permutador de calor.

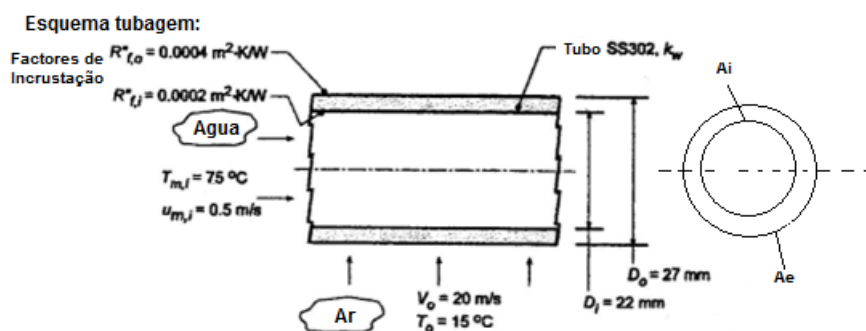


Fig. 29 Corte longitudinal da tubagem de cobre [8]

Através da consulta do livro Incropera [8] foram adoptadas as seguintes expressões numéricas para simulação dos vários cenários de velocidades de fluídos interiores (i) e exteriores (o), ao qual o permutador de fluxos cruzados está exposto. Assumiram-se condições de regime permanente e escoamento interno totalmente desenvolvido.

Retira-se da tabela A4, em anexos, o valor de viscosidade cinemática e número de Prandlt exterior, relativamente ao fluido ar [8].

Da tabela A6, apresentada em anexos, foi retirada, para as condições propostas do fluido interior à temperatura de 348K, o valor da resistência da água interior e o respectivo número de Prandlt recorrendo à densidade (ρ) e viscosidade dinâmica (μ).

Calcula-se o Reynolds relativo ao fluido interior (água) tendo velocidade, diâmetro e viscosidade cinemática, para caracterizar o tipo de escoamento segundo as suas propriedades termofísicas, através da seguinte expressão:

$$ReDi = \frac{u_{m,i}Di}{\nu_i} \quad (4.1)$$

Calcula-se o número de Nusselt relativo ao fluido interior:

$$Nu_{D,i} = 0,023Re^{0,8}D_i Pri^{0,4} \quad (4.2)$$

Cálculo do coeficiente convectivo interior:

$$h_i = \frac{Nu_{D,i}k_i}{D_i} \left(\frac{W}{m^2K} \right) \quad (4.3)$$

Executam-se os mesmos passos, tal como se efectuou para o fluido interior: cálculo de Reynolds exterior ar. Usando a correlação de Churchill Bernstein determina-se a temperatura da superfície ($T_{s,o}$), assumindo-se 315K:

$$\frac{T_{m,i}-T_o}{R_{tot}} = \frac{T_{s,o}-T_o}{R_{cv,o}} \quad (4.4)$$

Cálculo do Nusselt para o exterior (ar):

$$\overline{Nu}_{D_o} = 0,3 + \frac{0,62Re_{D_o}^{1/2}Pr_o}{[1+(0,4/Pr_o)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_{D_o}}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (4.5)$$

Coeficiente convectivo exterior:

$$h_o = \frac{\overline{Nu}D_o k_o}{D_o} \left(\frac{W}{m^2K} \right) \quad (4.6)$$

Calculou-se a resistência convectiva interior e exterior, o factor de incrustação interior e exterior, a resistência de condução do cobre, e aplicou-se a seguinte expressão para retirar o coeficiente global de transferência de calor térmica (W/m²K):

$$\frac{1}{U_o A_o} = R_{tot} = R_{cv.i} + R_{f.i} + R_w + R_{f.o} + R_{cv.o} \quad (4.7)$$

Utilizando as expressões acima enunciadas e referidas em anexos, calculou-se o coeficiente global de transferência de calor baseado na área exterior de contacto, para as condições iniciais apresentadas. O coeficiente global de transferência de calor é apresentado graficamente como função da velocidade de ar que atravessa o permutador. Fez-se variar essa velocidade desde os 2,5 m/s até os 30 m/s no exterior (lado do ar) e desde os 0,2 m/s a 1 m/s para o interior (lado da água). Com estes dados é possível apurar os seguintes resultados com os quais foi possível elaborar o seguinte gráfico de estudo (Gráfico 7).

A resistência convectiva exterior é cerca de cinquenta vezes inferior à interior [8].

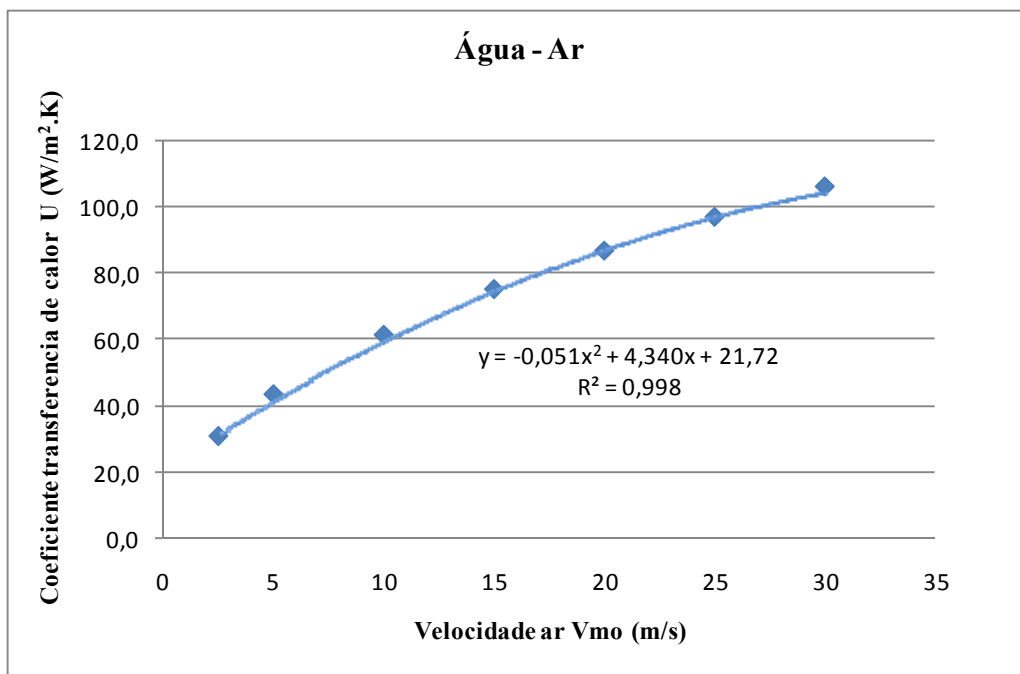


Gráfico 7 - Evolução do coeficiente de transferência de calor com a velocidade dos fluidos.

A investigação prosseguiu em direcção a obter uma relação que traduzisse o aumento das espessuras de incrustação e das suas velocidades de difusão da corrosão ao longo do tempo, conforme tabela que se segue (Tabela 3).

Metal	Ar industrial ($\mu\text{m}/\text{ano}$)	Ar marinho ($\mu\text{m}/\text{ano}$)	Ar rural ($\mu\text{m}/\text{ano}$)
Alumínio	0.81	0.71	0.025
Cobre	1.19	1.32	0.58
Chumbo	0.43	1.41	0.48
Zinco	5.13	1.60	0.86
Aço maciço	13.72	6.35	5.08
Aço Temperado	2.54	3.81	1.27

Tabela 3 - Ambientes e valores de aumento de espessuras (e) e de incrustação [40].

Para se encontrar a relação que traduzisse o aumento das espessuras de incrustação e das suas velocidades de corrosão ao longo do tempo, fez-se variar a espessura de acumulação de depósitos exteriores, de acordo com o citado na tabela: ar industrial (Tabela 3). Uma vez que relativamente à tabela em questão, estamos perante equipamentos de âmbito industrial, sendo esta uma opção média, isto permitiu obter a variação apresentada para as incrustações tal como se pode visualizar no Gráfico 8.

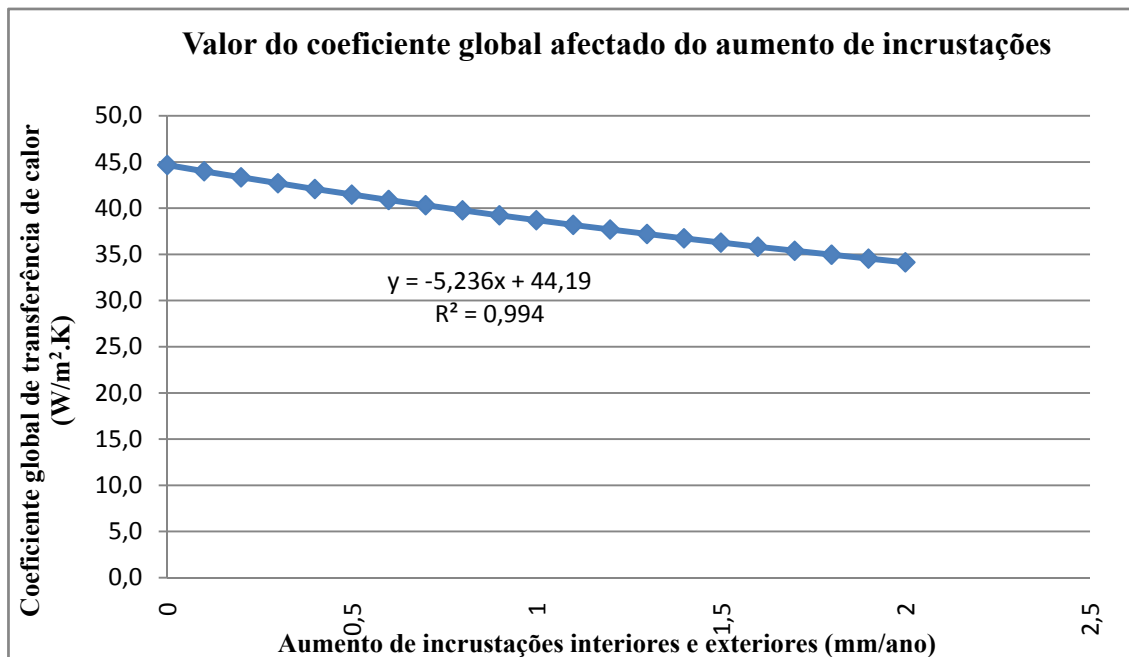


Gráfico 8 - Valor do coeficiente global afectado do aumento de incrustações

Desta forma, e conjugando os dados anteriores, opta-se por atribuir uma condutibilidade média (Tabela 7) destas acumulações, escolhendo como exemplo, a deposição de sulfato de cálcio, uma vez que é a mais comum nos permutadores.

TIPO DE DEPOSIÇÃO	Condutibilidade
Silicato de sódio e alumínio	0.2 – 0.4 W/mK
Milk Componentes	0.5 – 0.7 W/mK
Hematite (depósito de caldeira)	0.6 W/mK
Biofilme	0.7 W/mK
Sulfato de cálcio (depósito)	0.8 – 2.2 W/mK
Calcário ou calcite (depósito caldeira)	0.9 W/mK
Serpentina	1.0 W/mK
Gesso	1.3 W/mK
Sulfato de cálcio	2.3 W/mK
Fosfato de magnésio	2.3 W/mK
Fosfato de cálcio	2.6 W/mK
Carbonato de cálcio	2.9 W/mK
Óxido de ferro magnetita	2.9 W/mK

Tabela 4 – Coeficiente de condutibilidade térmica (λ) de incrustações típicas [37], [38], [39]

O aumento do coeficiente térmico foi calculado de acordo com o equipamento utilizado e recorrendo-se à média do coeficiente térmico do depósito na serpentina (Tabela 4), atribuindo-se para o interior da tubagem 1,3W/m.k e para o exterior 0,9W/m.K. Esta atribuição deve-se apenas ao facto de, no exterior, e após algum tempo de utilização do equipamento, o aumento de incrustação ser superior cerca de dez vezes mais do que o que surge no interior. No entanto, também deverá ter-se em conta que nas reacções de corrosão em meio aquoso, um acréscimo de temperatura de 30°C decuplica uma reacção de corrosão, enquanto que uma diferença de 20° C, duplica a mesma reacção de corrosão[39][40].

Assim, conjugando estas duas tabelas e de acordo com a taxa de evolução das incrustações exteriores e interiores, anteriormente analisadas, conseguem formular-se os gráficos apresentados de seguida (Gráfico 9 e Gráfico 10).

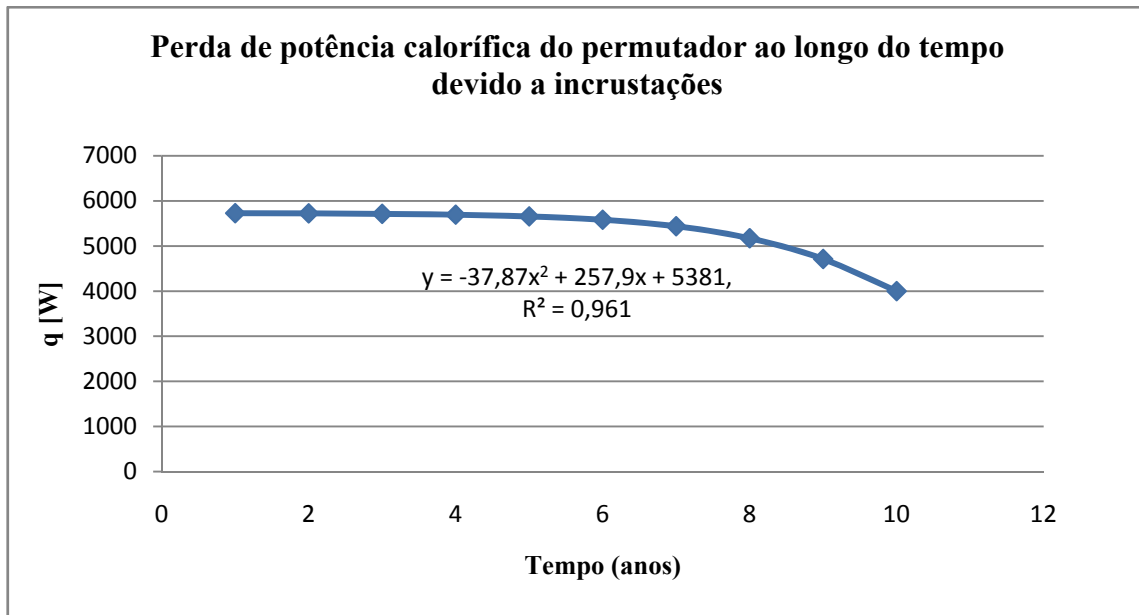


Gráfico 9 – Perda de potência calorífica do permutador ao longo do tempo devido a incrustações.

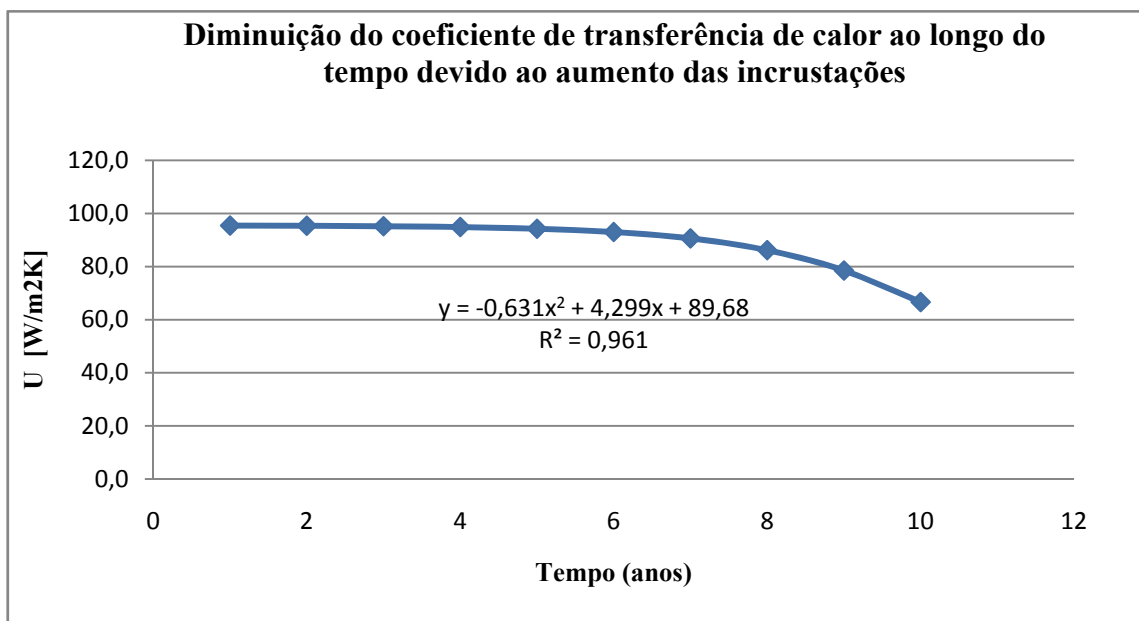


Gráfico 10 – Diminuição do coeficiente de transferência de calor ao longo do tempo devido ao aumento das incrustações.

Comparando os dois gráficos anteriormente apresentados (Gráfico 9 e Gráfico 10), verifica-se que a perda de potência segue o correspondente aumento das incrustações nas tubagens, uma vez que o coeficiente de transferência de calor afecta directamente a condutibilidade térmica e o poder da transferência de calor, adulterando as propriedades do material constituinte de um permutador.

Com a diminuição do diâmetro das tubagens, diminuem os custos de aquisição de tubagens e acessórios da instalação [33], mas aumentam os custos da instalação da bomba e de operação como consequência do aumento das perdas de carga. Desta situação resulta a necessidade de instalar motores com maior potência, aumentando os custos de energia eléctrica, o que, por sua vez, aumenta os custos de operação em consequência do maior consumo energético devido ao aumento de perdas por atrito [9].

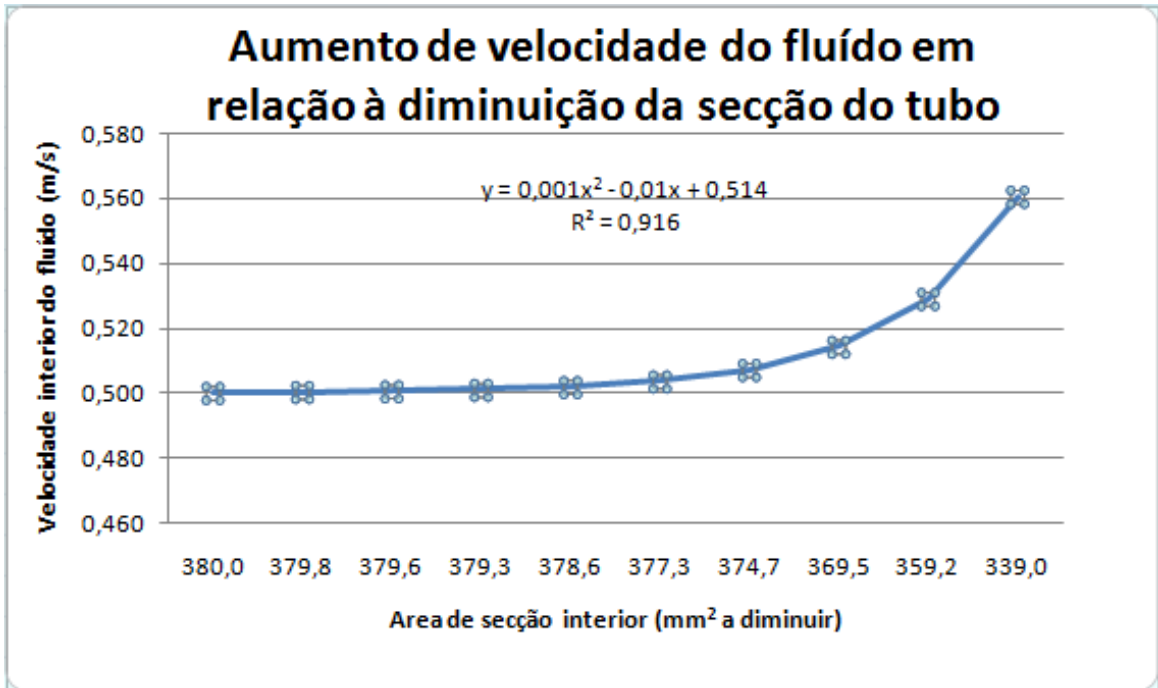


Gráfico 11 – Aumento de velocidade interior do fluido em relação à diminuição da secção do tubo.

4.2 Circuito hidráulico

A potência requisitada para a bomba circuladora determina-se através da perda de carga imposta na conduta, sendo que esta perda de carga (perda de energia) que flui no circuito hidráulico depende do diâmetro da tubulação, do caudal, ou mais especificamente, da velocidade de escoamento. Esta também dependente da rugosidade interna do tubo, portanto, do material constituinte do tubo (aço, PVC, cobre, etc) e do comprimento da tubagem.

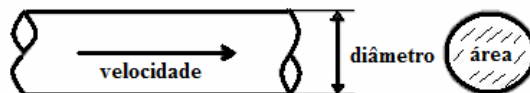


Fig. 30 – Relação caudal, velocidade e diâmetro de uma tubagem

No presente estudo atribuiu-se um caudal constante à bomba circuladora para verificar o aumento da velocidade da água no interior da tubagem (Gráfico 11), em relação à diminuição da área atacada pelas incrustações.

Assim, e como importa manter o caudal de circulação ou até mesmo aumentá-lo para fazer face à diminuição da transferência de calor na bateria do permutador, condiciona-se a bomba circuladora tanto no aquecimento como no arrefecimento. Esta terá de suportar uma maior perda de carga, acrescida de uma maior solicitação pedida pelo circuito secundário.

Recorrendo às expressões apresentadas de seguida, obtemos o gráfico da solicitação imposta à bomba apenas para vencer a perda de carga, não contemplando a solicitação que se poderá fazer ao sistema primário na compensação para aquecimento e/ou arrefecimento extra, nem as perdas por atrito derivadas do aumento das incrustações.

Este aquecimento e arrefecimento extra deteriora a bomba e todo o circuito hidráulico subjacente devido às diferenças térmicas de compensação, o que para este caso deverá entrar no custo do ciclo de vida da bomba. O aumento de incrustações já se encontra implícito neste cálculo.

Assim, recorreu-se ao cálculo do número de Reynolds para encontrar o regime em que se está a trabalhar (relação entre velocidade, diâmetro da tubagem e viscosidade cinemática do fluido) [8].

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (4.8)$$

Cálculo do factor de resistência ou factor Darcy-Weisbach (Diagrama de Moody):

$$f=0,3164(Re)^{-0,25} \quad (4.9)$$

Cálculo da perda de carga a vencer:

$$\Delta p = \frac{f \cdot \rho \cdot L \cdot V^2}{2D} \quad (4.10)$$

Cálculo da Potência necessária para a bomba vencer essa perda de carga:

$$P(kW) = \frac{\gamma \times Q(t) \times H(t)}{\eta_c \times \eta_m} \quad (4.11)$$

Todo este cálculo é quantificado nos gráficos seguintes.

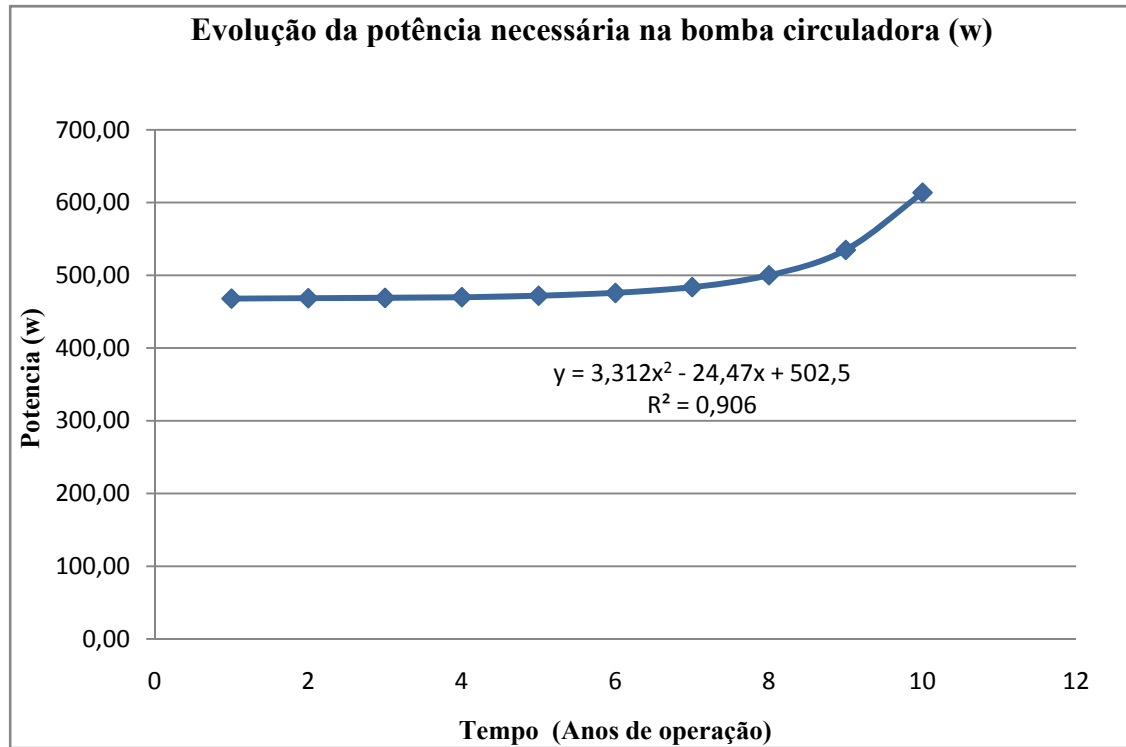


Gráfico 12 – Evolução da potência necessária na bomba circuladora para manter o caudal inicial

Ao manter-se o caudal constante na instalação hidráulica, com o aumento das incrustações e depósitos de sujidades, ter-se-á de aumentar a rotação da bomba na existência dessa possibilidade, desequilibrando o sistema da bomba/instalação e não garantindo o ponto de funcionamento. Este assunto será focado no final deste Capítulo, como sugestão de melhoria.

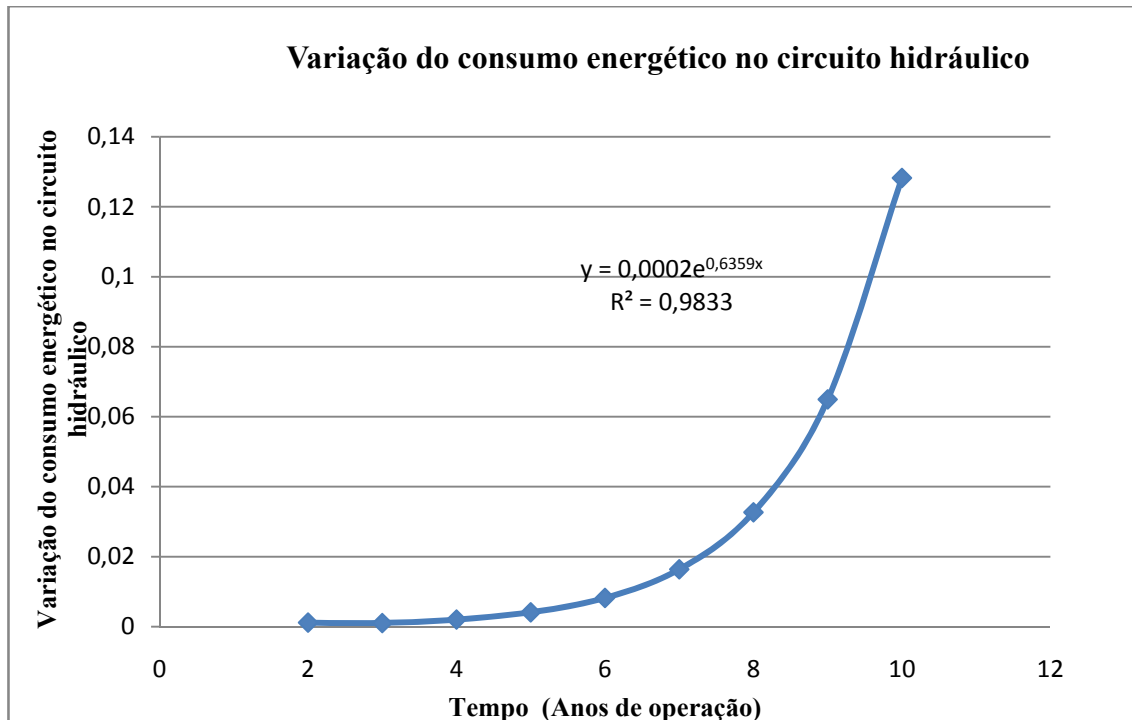


Gráfico 13 – Variação do consumo energético no circuito hidráulico.

Pela análise do gráfico consegue concluir-se que devemos intervir, em termos de manutenção, como limite máximo, a partir do quinto ano de funcionamento, no intuito de corrigir a evolução de degradação exponencial.

Seguem-se algumas opções a tomar para correcção das anomalias detectadas.

a) Limpeza dos permutadores (*ver anexos*)

- Uso de inibidores de corrosão;
- Aplicação Índice de *Langelier*;
- Inibidores de incrustação;
- Inibidores de incrustação / Floculantes;
- Inibidores de incrustação / Dispersantes;
- Inibidores de incrustação / Quelatos;
- Inibidores de incrustação / Fosfonatos;
- Fungos, algas e bactérias.

b) Substituição de Bombas

Uma bomba circuladora com sistema de auto regulação pode ser utilizada em situações de substituição em edifícios existentes onde se sabe que irá ser utilizada regulação proporcional de pressão: estima-se que em 80% dos casos será utilizável.

Nas figuras que se seguem, mostra-se a sua mais-valia, já que, ao instalar este tipo de sistemas, estará a poupar-se mais 6,5% de energia do que no modo de pressão proporcional (Colocação de bombas de velocidade variável e auto controlada) [9].

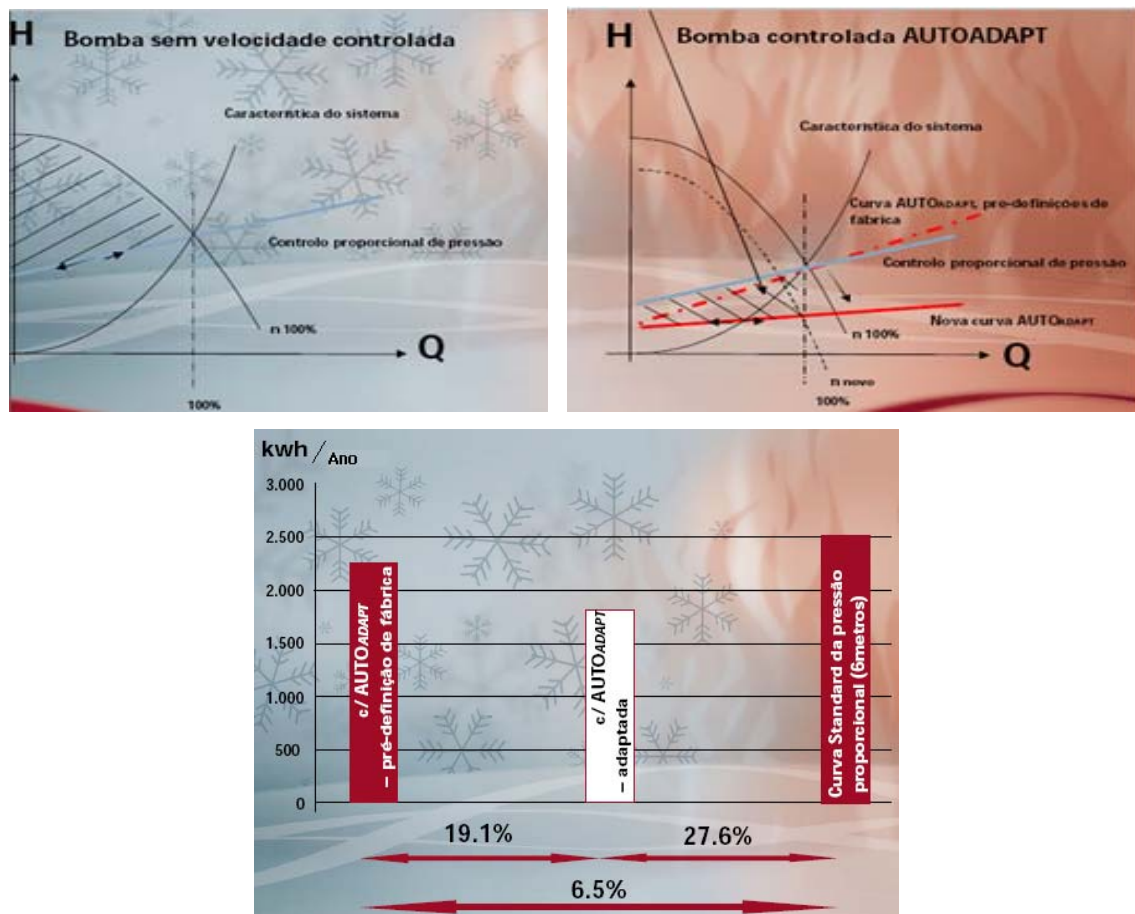


Fig. 31 – Bombas circuladoras e curvas de tecnologia existente [9]

Este sistema permite poupar energia e reduzir custos para o utilizador, eliminando problemas no arranque do equipamento e protegendo o ambiente.

Assim, nos capítulos III e IV foi analisado o impacto de componentes na eficiência da UTA/UTAN. No capítulo V será apresentada uma análise energética pressupondo um conjunto de cenários, terminando com uma quantificação de variação do índice de eficiência energética relativo a gastos energéticos dispendidos pela bomba.

CAPITULO V – Análise de caso prático relativo ao impacto da manutenção na eficiência global das UTA's

5.1 Aplicação da metodologia

Neste Capítulo será apresentado um conjunto de casos práticos aos quais se aplicará a metodologia apresentada nos Capítulos III e IV, conforme referido no final do Capítulo IV.

Este estudo irá debruçar-se sobre uma comparação: entre o primeiro e o décimo ano de funcionamento da UTA/UTAN, admitindo que é ou não feita manutenção nos filtros durante 90 dias de análise. Surgem, por isso, acumulação de impurezas de acordo com o esperado no modelo, bem como perdas associadas às folgas das correias (deflexão e desalinhamento), perdas associadas às incrustações, aumento de pressão de descarga e redução dos caudais do efeito da sujidade no circuito hidráulico [6].

Nos próximos gráficos será mostrada essa análise baseada nas curvas e equações obtidas, no sentido de realizarmos uma aproximação e leitura generalista do que poderá acontecer com o evoluir dos anos.

Assim, são avaliadas no primeiro trimestre do primeiro ano de funcionamento, as perdas totais decorrentes de funcionamento da UTA/UTAN, atingindo facilmente 21% de perda de eficiência no conjunto dos componentes, conforme gráfico que se apresenta, no qual não existe manutenção (Gráfico 14).

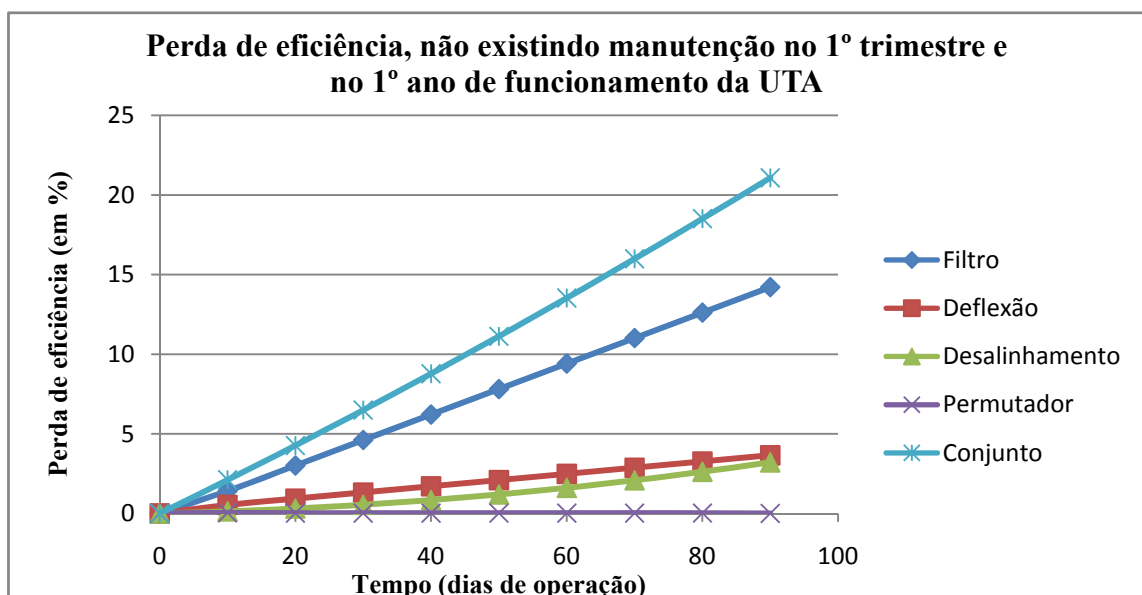


Gráfico 14 – Perda de eficiência, não existindo manutenção no 1º trimestre e no 1º ano de funcionamento da UTA/UTAN no seu conjunto.

Pela leitura deste gráfico podemos concluir que no primeiro ano em análise, o elemento que mais interessa corrigir em termos de manutenção será o filtro, dado ser o que mais influencia a perda energética global da UTA/UTAN. Desta forma a periodicidade de manutenção deve efectuar-se de 45 em 45 dias, antes de atingir perdas energéticas de 10%. Relativamente aos outros componentes, o conjunto deflexão e desalinhamento (e na existência deste tipo de acoplamento por correias), devem ser corrigidos até ao final do 3º trimestre.

Considerando que a manutenção é efectuada com a periodicidade de 45 dias para o grupo de filtragem e 60 dias em relação à correcção da deflexão e do desalinhamento das correias do ventilador, não contabilizando o permutador por ter perdas diminutas neste período, nem o tempo de vida útil do equipamento, obteríamos uma perda de eficiência de 9%, o que significa que se estaria a poupar 12% na eficiência energética com a aplicação de rotinas de manutenção, nos primeiros 90 dias do primeiro ano.

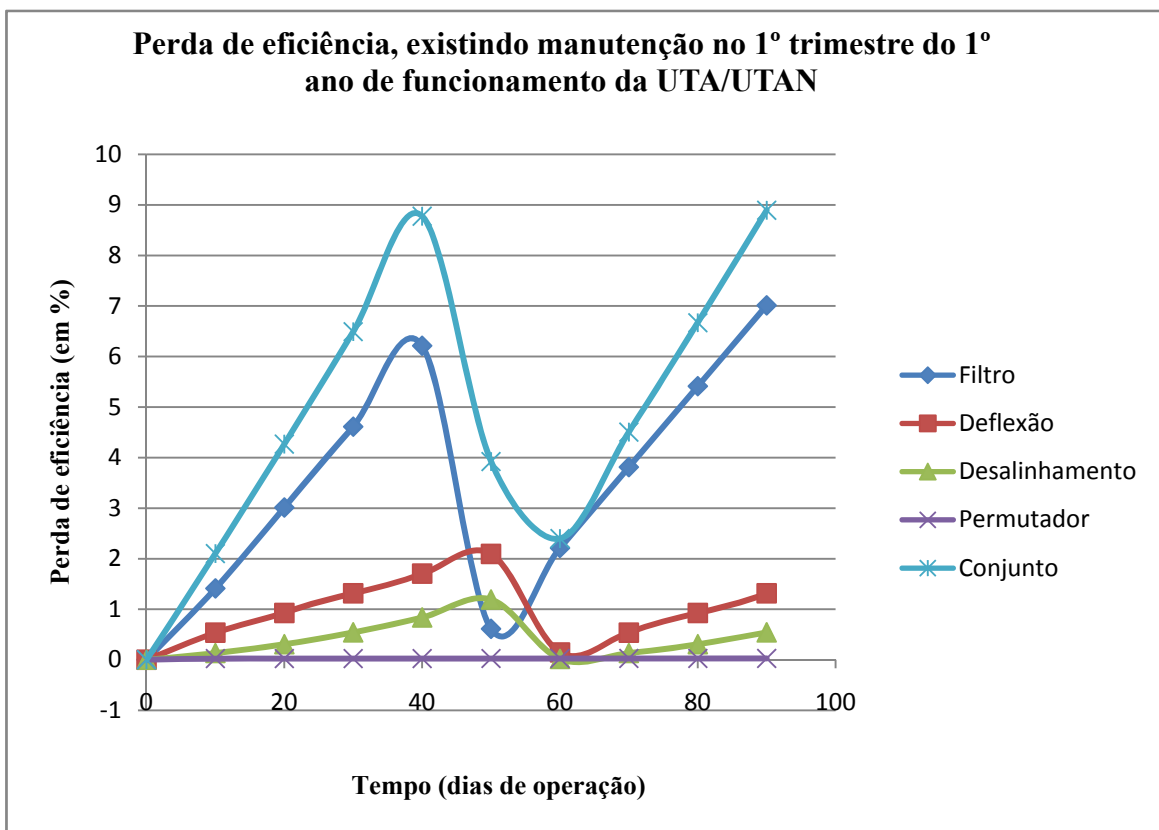


Gráfico 15 - Perda de eficiência, existindo manutenção no 1º trimestre do 1º ano de funcionamento da UTA/UTAN

De seguida, é avaliado o primeiro trimestre do décimo ano de funcionamento, cujas perdas de eficiência totais decorrentes de operação, atingem facilmente 34% no conjunto dos componentes, conforme gráfico que se apresenta (Gráfico 16), sem existência de manutenção geral nesse trimestre, mas considerando que foi feita manutenção nos filtros e correias ao longo de todo o período anterior.

Podemos verificar que o permutador já começa a ter um determinado peso na eficiência energética global.

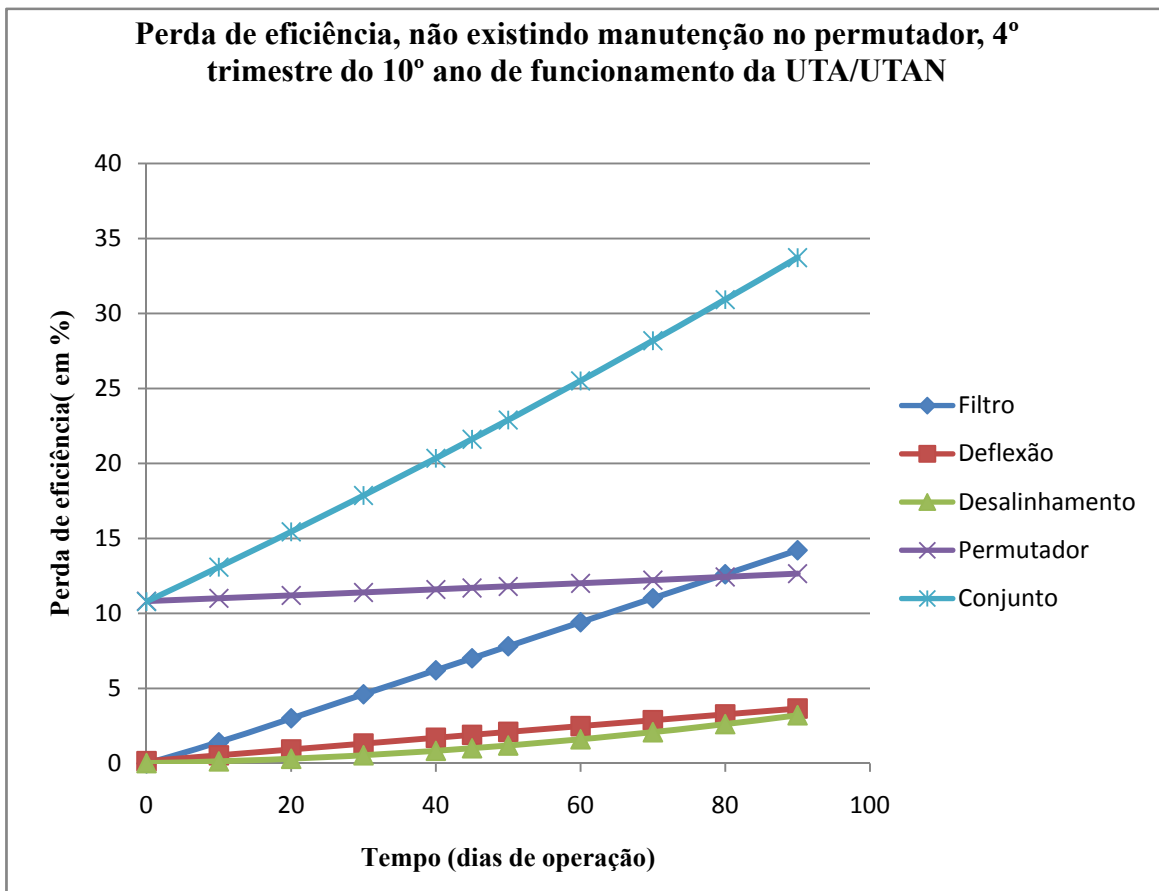


Gráfico 16 - Perda de eficiência, não existindo manutenção no permutador, 4º trimestre e 10º ano de funcionamento da UTA/UTAN

Considerando que é efectuada manutenção no permutador a partir do 5º ano de operação, acompanhada com a manutenção dos filtros, ventilador (deflexão e desalinamento), conclui-se, pela leitura dos gráficos, que se pode poupar no final dos 10 anos cerca de 24,33% de gastos energéticos, quando comparado com o estudo efectuado anteriormente, onde se considera que é efectuada a manutenção de todos os componentes (Gráfico 17 e Gráfico 15).

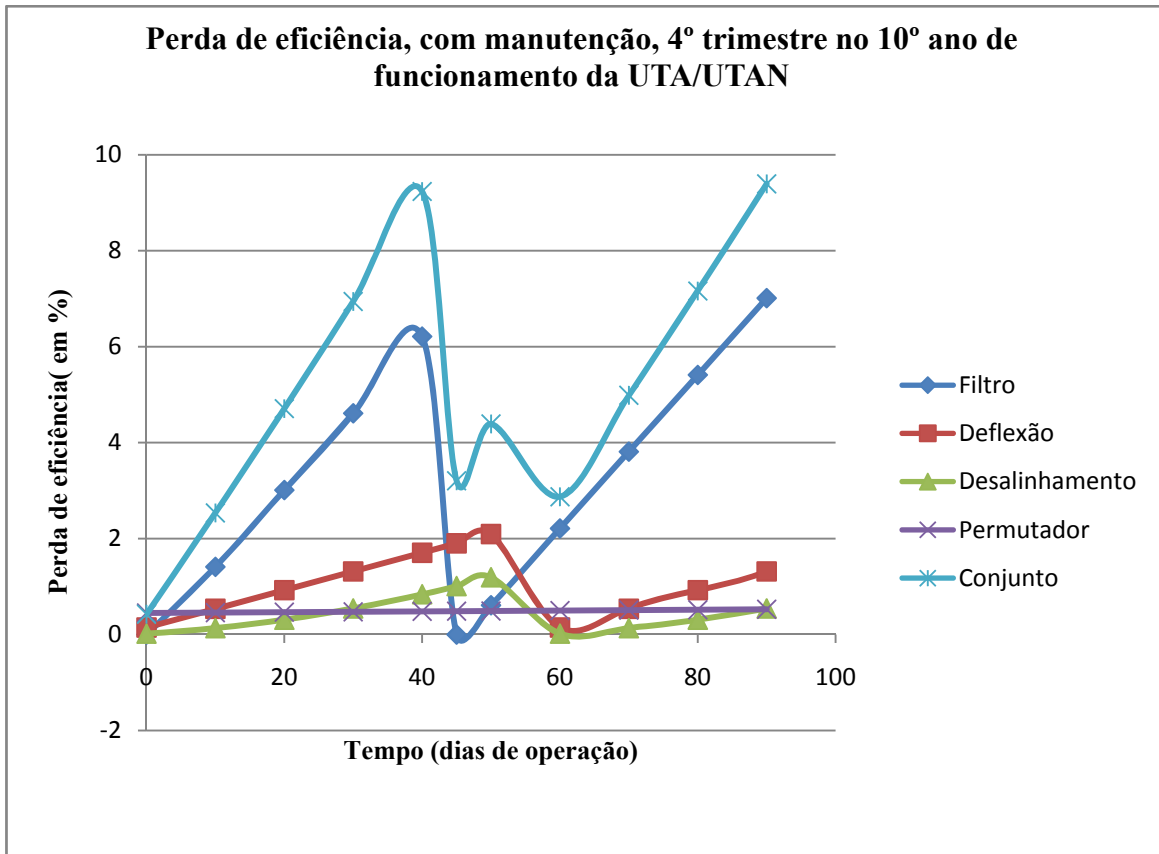


Gráfico 17 - Perda de eficiência, com manutenção, 4º trimestre no 10º ano de funcionamento da UTA/UTAN

5.2 Exemplo de aplicação e de medição da variação do Índice de Eficiência Energética devido aos gastos energéticos provocados pela bomba circuladora

De acordo com a perda de carga da tubagem, assim a bomba circuladora necessitará também de um maior esforço ou potência para vencê-la. Esta experiência de aplicação tenta traduzir como uma só bomba circuladora consegue, durante um período de dez anos de funcionamento, influenciar a classificação energética do edifício na qual está inserida.

Para tal, escolheu-se o ano inicial de funcionamento, um ano intermédio e o décimo ano. No primeiro ano, a bomba, em valores nominais, consome 468 W. Passados 6 anos, a bomba, apresenta valores nominais de consumo de 476 W. Ao fim de 10 anos a bomba consumirá valores nominais mínimos de 613 W, conforme Gráfico 18.

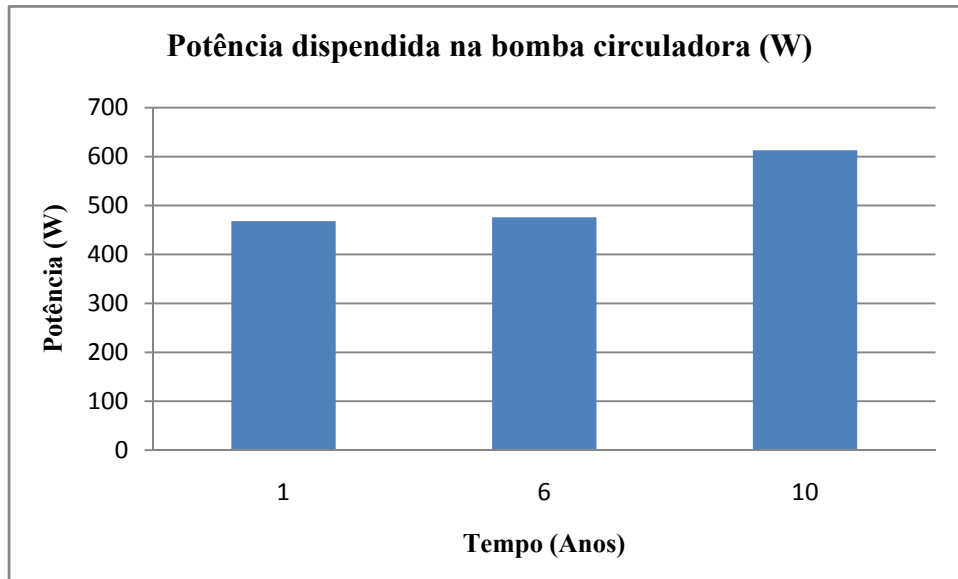


Gráfico 18 – Potência dispendida pela bomba circuladora

Para exemplo de aplicação escolheu-se um edifício onde está instalado um clube desportivo com piscina, situado na zona centro. Existem necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento, e o edifício contempla uma classificação energética de classe A.

Neste edifício encontra-se a UTA em análise, que segue os modelos apresentados anteriormente, em relação a filtros e correias. O ventilador usado foi um ventilador centrífugo, com pás inclinadas para a frente, de baixa rotação, accionado através de um conjunto de 4 correias em “V” por um motor de indução trifásico, com as seguintes características nominais: Potência nominal – 15 kW; $U_c = 380$; $V = 32$ A; $N = 1450$ rpm; $\cos \varphi = 0,82$.

A UTA inclui dois permutadores ar/água, um com bateria de aquecimento, outro com bateria de arrefecimento, e um conjunto de dampers, cuja instalação foi feita em 2009. Estes dados constituem o caso prático cujo valor energético vai ser calculado segundo a metodologia presente no RSECE.

Neste exemplo admite-se que o sistema tem uma determinada potência e um determinado caudal para combater as cargas térmicas do edifício, sendo que, hipoteticamente, para aquecimento necessita de uma potência de 41038 kWh/ano, para uma necessidade de arrefecimento de 28722 kWh/ano e de uma potência de ventilação de 10376 kWh/ano.

Clubes desportivos com piscina

Perfis variáveis de acordo com os valores das tabelas	
	Densidades
Ocupação	7m ² /Ocupante
Iluminação	-----
Equipamento	1 W/m ²

Perfis Constantes		
	Densidade	N.º Horas funcionamento
Iluminação Exterior	-----	5400

Fig. 32 e Fig. 33 – Perfis de densidade do edifício [4]

Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC

horas	% de Ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	25	25	0
8h as 9 h	75	75	0
9h as 10h	75	75	0
10h as 11h	100	100	0
11h as 12h	100	100	0
12h as 13h	100	100	0
13h as 14h	100	100	0
14h as 15h	100	100	0
15h as 16h	100	100	0
16h as 17h	100	100	0
17h as 18h	100	100	0
18h as 19h	100	100	0
19h as 20h	100	100	0
20h as 21h	50	50	0
21h as 22h	0	0	0
22h as 23h	0	0	0
23h as 24h	0	0	0

horas	% de Iluminação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	15	15	0
8h as 9 h	40	40	0
9h as 10h	45	45	0
10h as 11h	45	45	0
11h as 12h	45	45	0
12h as 13h	35	35	0
13h as 14h	70	70	0
14h as 15h	80	80	0
15h as 16h	90	90	0
16h as 17h	95	95	0
17h as 18h	100	100	0
18h as 19h	50	50	0
19h as 20h	45	45	0
20h as 21h	45	45	0
21h as 22h	30	30	0
22h as 23h	0	0	0
23h as 24h	0	0	0

horas	% de equipamento		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	15	15	0
8h as 9 h	40	40	0
9h as 10h	45	45	0
10h as 11h	45	45	0
11h as 12h	45	45	0
12h as 13h	35	35	0
13h as 14h	70	70	0
14h as 15h	80	80	0
15h as 16h	90	90	0
16h as 17h	95	95	0
17h as 18h	100	100	0
18h as 19h	50	50	0
19h as 20h	45	45	0
20h as 21h	45	45	0
21h as 22h	30	30	0
22h as 23h	0	0	0
23h as 24h	0	0	0

Fig. 34, Fig. 35 e Fig. 36 – Tabelas de perfis de utilização do edifício [4]

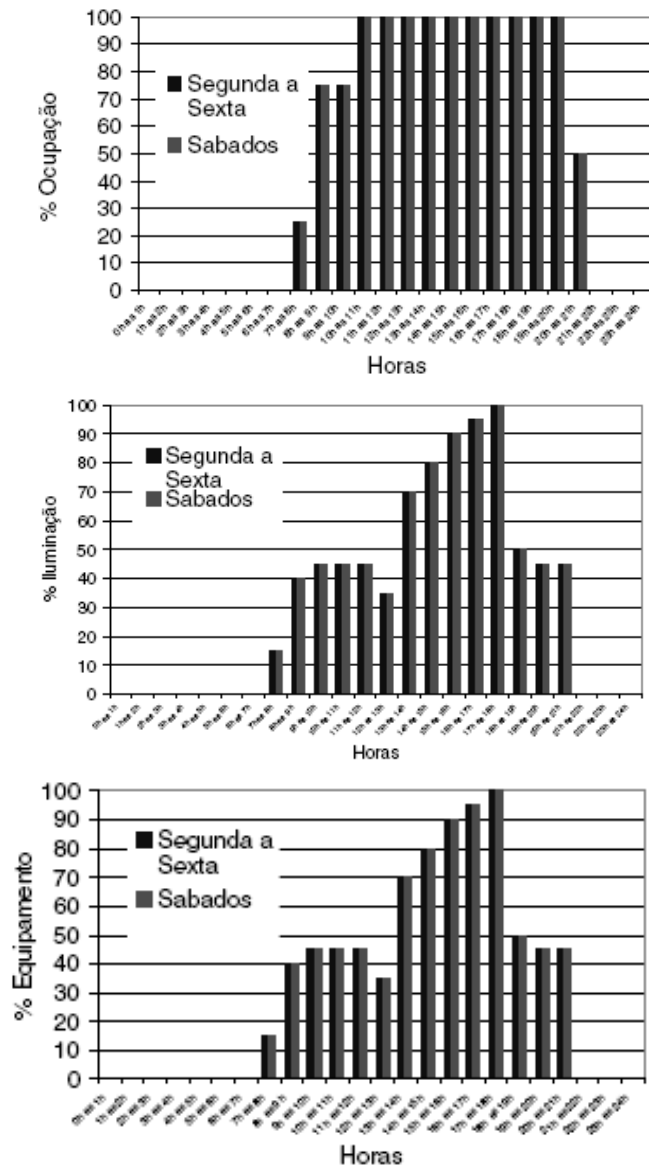


Fig. 37, Fig. 38 e Fig. 39 – Gráfico de perfis de utilização do edifício [4]

Neste caso, atribuiu-se uma área ao edifício de 1000m² e gastos de iluminação de 9,375 kW, isto para distribuir o gasto energético pela área e conseguir obter o IEE (Índice de Eficiência Energética do edifício). A única variável que vai ser alterada será a dos equipamentos, uma vez que, esta respeita à energia dispendida pela bomba circuladora e é a que aqui interessa contabilizar.

Salas	Área (m ²)	Equipam (w)	Ilumin (w)
1	1000	468	9375
Total	1000	468	9375

Tabela 5- Tabela de valores de gastos energéticos com bomba circuladora, primeiro ano (468w).

Para analisarmos os valores de gastos relativos a um ano, será necessário contabilizar a potência relativa a equipamentos recorrendo aos perfis de utilização, nos quais, de acordo com o funcionamento do edifício, semanal e fins-de-semana, se obtém uma potência de 2014 kWh/ano (Fig. 34 a Fig. 39).

Equipamento	Dias/semana	Semanas/ano	kWh/ano	Total
Semana	6	5	52	1673
Fim semana	3	2	52	341 kWh/ano

Tabela 6 – Consumo de potência anual do edifício, segundo perfis de utilização.

Essa energia que é dispendida anualmente pela bomba circuladora – 2014 kWh/ano – (Tabela 6) terá que ser distribuída pela área útil do edifício (Tabela 7).

Unidade	Equipamento
W/m²	15
kWh/ano	2014
kWh/m².ano	2,01

Tabela 7 – Valores para equipamento em kWh/m².ano

Assim, este valor de 2014 kWh/m².ano é afectado pelos factores de conversão para energia primária, neste caso energia eléctrica, cujo factor de conversão é 0,29 kgep/kWh (Tabela 8).

Factores de conversão de energia primária:

Electricidade Fpu	0,29	kgep/kWh
Gás Natural Fpu	0,086	kgep/kWh

Tabela 8 – Factores de conversão para energia primária.

O valor relativo aos gastos energéticos inerentes ao equipamento é de 0,6 kgep/m².ano.

Após verificação do limite máximo referencial regulamentar [4], calculou-se o IEE de referência para o Edifício em análise, conforme Tabela 9, ficando a saber-se que não poderá exceder um valor limite de 25 kgep/m².ano.

	Aquecimento + Arrefecimento		Só aquecimento	
	IEE Ref	S	IEE Ref	S
Hipermercados	110	58	93	49
Vendas por Grosso	35	18	27	13
Supermercados	70	30	55	23
Centros Comerciais	95	60	58	36
Pequenas lojas	35	26	31	21
Discotecas	40	17	17	7
Bingos e Clubes Sociais	15	11	14	10
Clubes desportivos c/ piscina	25	17	17	14
Clubes desportivos s/ piscina	20	16	17	14
Escritórios	35	15	30	12

Tabela 9 – Valores de IEE de Refⁿ e S regulamentares [4].

O índice de eficiência energética é, assim, afectado pelas potências de consumo para aquecimento e arrefecimento, e é corrigido de acordo com a localização geográfica do edifício (Tabela 10). É afectado ainda pelas potências de consumo dos equipamentos, pela potência dispendida em iluminação e ventilação e pelo índice de ocupação. Com todos estes factores obtem-se um valor final para índice de eficiência energética nominaldo edifício de 16 kgep/m².ano [4], (Tabela 8 a Tabela 11) e expressões (5.1 a 5.3).

$$IEE_i = (Q_{ac} / \eta) * F_{ci} * F_{pu} + (Q_{vent} * 0.5) * F_{ci} * F_{pu} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)} \quad (5.1)$$

$$IEE_v = (Q_{arr} / \eta) * F_{cv} * F_{pu} + (Q_{vent} * 0.5) * F_{cv} * F_{pu} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)} \quad (5.2)$$

$$IEE_o = (Q_{lum}) * F_{pu} + (Q_{equip}) * F_{pu} + (Q_{ocup}) * F_{pu} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)} \quad (5.3)$$

Eficiência dos equipamentos:

Caldeira	0,87
Chiller	2,5

Factores de correcção climática:

FCi	0,37
Fvi ou Fcv	0,89

Tabela 10 – (Esq.) Correcção equipamentos eficiências de climatização; (Dir.) Correcção geográfica do edifício

Aquecimento	41.038 kWh/ano
Arrefecimento	28.722 kWh/ano
Ventilação	10.376 kWh/ano

kgep/m2ano	Edifício
IEEi	2,0
Aquec.	1,5
Vent.	0,6
IEEv	6,7
Arref.	5,3
Vent.	1,3
IEEo	7,6
Ilum.	7,0
Equipam.	0,6
Ocup.	
IEE	16
IEEref.	25

Tabela 11 – Dados atribuídos de arrefecimento, aquecimento e ventilação para o edifício. [4]

A determinação da classe energética é parametrizada de acordo com a tabela apresentada (Tabela 12) recorrendo ao índice de eficiência energética referencial e nominal previamente calculado, sendo que a classe a atribuir se encontra numa escala de 9 classes possíveis. O edifício, por ser de utilização nova, deverá estar compreendido nas escalas entre A+ a B-, nunca numa escala inferior.

Classe Energética	Condição a verificar
A +	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S$
A	$IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S$
B	$IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S$
B -	$IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos}$
C	$IEE_{ref,novos} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 0,50 \times S$
D	$IEE_{ref,novos} + 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S$
E	$IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S$
F	$IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S$
G	$IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S < IEE_{nom}$

Tabela 12 – Tabela de cálculo do Índice de Eficiência Energética para classificação do edifício [36]

De acordo com a Tabela 12, conclui-se que, para a potência de consumo da bomba circuladora de 468W, a classe de eficiência energética relativa ao edifício seria de A, segundo os dados fornecidos pela Tabela 13 e cálculo efectuado segundo a Tabela 12.

IEEnom=	16,33
IEEref=	25,00
S=	17

Classe energética	IEEnom (Kgep/m2.ano)
A+	16,33 <= 12,25
A	12,25 < 16,33 <= 16,50
B	16,50 < 16,33 <= 20,75
B-	20,75 < 16,33 <= 25,00

Tabela 13 – Classificação energética do edifício para os gastos de 468 W no equipamento.

Após seis anos de funcionamento, executaram-se os mesmos cálculos em que, após este período de trabalho, a bomba circuladora estaria a consumir energeticamente 476 W de potência, mantendo a classe energética inicial A (Tabela 14).

IEEnom=	16,34
IEEref=	25,00
S=	17

Classe energética	IEEnom (Kgep/m2.ano)
A+	16,34 <= 12,25
A	12,25 < 16,34 <= 16,50
B	16,50 < 16,34 <= 20,75
B-	20,75 < 16,34 <= 25,00

Tabela 14 – Classificação energética para consumo da bomba de 476 W

No entanto, e utilizando a mesma metodologia de cálculo, após dez anos de trabalho, a potência de consumo da bomba circuladora será de 613 W, o que fará com que a classificação energética do edifício baixe para B (Tabela 15).

IEEnom=	16,52
IEEref=	25,00
S=	17

Classe energética	IEEnom (Kgep/m2.ano)
A+	16,52 <= 12,25
A	12,25 < 16,52 <= 16,50
B	16,50 < 16,52 <= 20,75
B-	20,75 < 16,52 <= 25,00

Tabela 15 – Classificação energética para consumo da bomba de 613 W

Fazendo um resumo de todo o processo anteriormente citado e referente aos valores contabilizados de consumos na bomba circuladora, relativos ao aumento das incrustações nas tubagens das baterias, chega-se aos resultados de índices de eficiência energética conforme enunciados na Tabela 16 e Gráfico 19.

Bomba, consumo de 468W 1º ano	Bomba, consumo de 476W 6º ano	Bomba, consumo de 613W 10º ano
<p>CLASSE ENERGÉTICA</p>	<p>CLASSE ENERGÉTICA</p>	<p>CLASSE ENERGÉTICA</p>

Tabela 16 – Análise evolução temporal da classificação da eficiência energética do edifício, resumo. [36]

Conclui-se, então, que a subida não é muito significativa ao longo dos seis primeiros anos de funcionamento do Edifício, mas que, entre o sexto e o décimo ano, para uma só bomba circuladora e de pequena potência, o consumo pode influenciar a classificação energética do edifício em análise, quando este está no limiar de troca de classificações. Com o multiplicar da quantidade destas bombas e com o aumento das suas potências, depressa verificaríamos que esta tendência mais se acentuaria, aproximando-se do limite do Índice referencial que poderá fazer com que o edifício se torne não regulamentar.

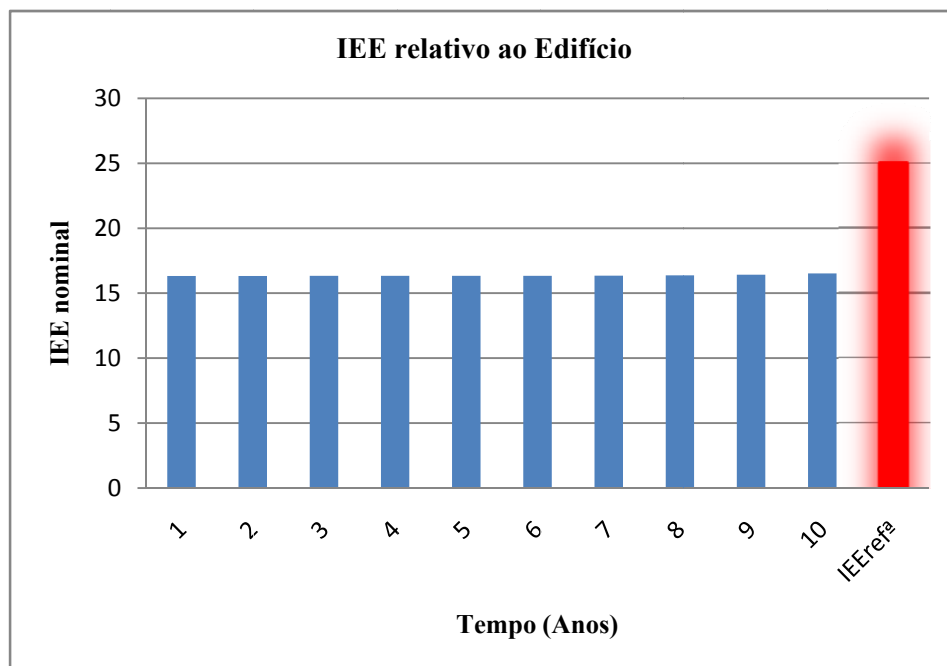


Gráfico 19 – Aumento do IEE nominal, comparado com o IEErefª. do Edifício.

CAPITULO VI – Conclusão

O estudo apresentado visou, essencialmente, analisar o impacto da manutenção numa UTA/UTAN, partindo do princípio que essa manutenção é efectuada, ou não, conforme os diferentes cenários estudados nos equipamentos de maior valor, do ponto de vista energético (manutenção a definir em filtros, permutadores, incrustações no permutador, exterior e interior, lado do ar e lado da água e efeito da sub-pressão no ventilador).

Chegou-se à conclusão, de uma forma muito fácil e simples que, com este modelo/procedimento, se consegue prever qual o impacto da manutenção nos diferentes níveis, nos diferentes equipamentos/componentes e qual a percentagem de perdas energéticas com que cada um intervém, havendo um crescimento nas perdas energéticas globais de 23% no primeiro trimestre do primeiro ano para 34% no último trimestre do 10º Ano, sendo o filtro o maior responsável.

Perante estes resultados, é necessário e fundamental atacar a corrosão e a degradação das tubagens hidráulicas desde o início, desde a instalação, devendo adoptar-se uma estratégia de análise constante que poderá passar pela aplicação de sensores ou sinalizadores e as suas possibilidades de falhas numa UTA/UTAN, evoluindo para a total optimização e automatização, simulando todos os seus componentes e esgotando a possibilidade de máxima eficiência energética de conjunto.

Por esta razão, todos os permutadores de calor deveriam ser limpos regularmente para manterem o seu estado inicial. Imagine-se um sistema mecânico ou químico que realize a limpeza do permutador de calor, de forma automática e de acordo com informações sensoriais de estado. Podia disponibilizar-se esse sistema, garantindo que o permutador funciona sempre com elevada eficiência, diminuindo os custos de manutenção e as perdas de eficiência durante o funcionamento. Este sistema poderá passar por um processo de análise química através da aplicação de fluidos anti-oxidantes ecológicos, tanto no interior como no exterior do permutador (ver anexos). Deste modo, ao plano de manutenção indicado e segundo análise dos gráficos anteriores, deverá ser prevista uma limpeza anual no exterior do permutador, bem como o emprego de um líquido anti-corrosão adicionado à água que circula no interior do mesmo, devendo esta ser analisada de três em três anos.

Ter-se-á que ter em conta que uma só bomba de circulação, após 10 anos em funcionamento sem manutenção adequada, pode fazer variar a classe energética de um edifício, sobretudo se este estiver na eminência ou perto da barreira de troca de classificações energéticas (normalmente temos várias bombas em funcionamento o que acentua essa tendência), obrigando a que o mesmo deixe de ser Classe A e desça de Classe, para uma classe abaixo: Classe B ou inferior.

Como pressuposto de trabalhos futuros, este é um trabalho não exaustivo, no qual se devem recolher mais dados experimentais, tanto através da análise prática como noutras componentes científicas (como análises químicas), para o qual o resultado deve servir como afinação do valor teórico. O caso dos dampers e suas repercussões não foram analisadas, bem como a relação do que poderá acontecer na falta da sua manutenção face às condições anormais de acumulação de sujidades que podem originar bloqueios das aberturas e a não garantia do fluxo de ar que passa através deste equipamento. A invariabilidade do clima e a vida útil do equipamento, assim como a variação do caudal de ventilação face às condições de acumulação de sujidades ou de incrustações exteriores, também não foram aqui contabilizadas e também têm a sua influência. Pressupõe-se estas análises para continuação e evolução deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] International Energy Agency, World Energy Outlook 2007, Novembro 2007.
- [2] International Energy Agency, Oil Market Report, Outubro 2007.
- [3] Energy statistics to support EU policies and solutions, em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, acesso em 14 Maio de 2009.
- [4] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril (Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios - RSECE).
- [5] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE).
- [6] Henriques, João José Barroso, Dissertação de Mestrado, “*O Impacto da Manutenção nos Consumos de Energia em sistemas de Climatização Centralizados*”, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (2003).
- [7] Sanyo, sistema Eco-G GHP VRF e sistema PV, em <http://sanyo.pt>, acesso em Março 2009.
- [8] Frank P. Incropera, David P. De Witt, *Fundamentos de transferência de calor e de Massa*, 4ª edição.
- [9] Grundfos – *Bombas circuladoras para circuitos hidraulicos*, <http://www.grundfos.com/web>, 12 Fevereiro 2009.
- [10] Levenspiel, Octave; *Engineering flow and heat exchange*, Ano - 1998
- [11] Quintela, António de Carvalho, *Hidráulica 10ª edição*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 1981;
- [12] American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, ASHRAE, Atlanta, 1989.
- [13] Isolamentos de condutas, <http://www.termolan.pt/termolan>, Abril 2009
- [14] Controlos de UTA's, http://en.wikipedia.org/wiki/HVAC_control_system#cite_note-0, Abril de 2009
- [15] Grundfos – *Magna energy savings calculator*, em <http://net.grundfos.com/doc/webnet/magna/bgp/index.html>, Maio 2009.
- [16] AFNOR – Association Française the normalisation
- [17] Fernandes, João Francisco, “*Método simplificado para optimização de sistemas de acumulação de frio, em sistemas de AVAC*”, Porto, Abril/2004.
- [18] TOLEDO, Eustáquio. *Ventilação Natural das Habitações*. EdUFAL. Maceió/AL, Universidade Federal de Alagoas. 1999
- [19] EPA (Environmental Protection Agency); *Buildings Air Quality: A guide for Building Owners and Facility Maintenance*, 34-36, 123-137, (2001).

- [20] Frank P. Bleir; *Fan Handbook, Selection, Application and Design*, McGraw-Hill, 5.5 – 5.14, (1997).
- [21] EN 1886; “*Unidades de tratamento de ar – Desempenho Mecânico*”, ISQ, (2000).
- [22] Robert C. Rosaler, *HAVC – Maintenance and Operations Handbook*, MacGraw-Hill, (1997).
- [23] Wilbert F. Stoecker and Jerold W. Jones; *Refrigeração e ar condicionado*, MacGraw-Hill, 163-177 (1985).
- [24] Energy Technology Bulletin; *Energy Systems Maintenance, naval Facilities Engineering Service Center*, Port Hueneme, California, (2001).
- [25] Holman J. P.; *Transferência de Calor*, MacGraw-Hill, 494-537, (1983).
- [26] EPA (Environmental Protection Agency); *Buildings Air Quality: A guide for Building Owners and Facility Maintenance*, Section 5, (2001).
- [27] Victor L. Streeter and R. Benjamin Wyle; *Mecânica dos Fluidos*, 7ª Ed., Cap.10, McGraw-Hill, (1982).
- [28] Jan F. Kreider, *Handbook of heating, ventilation, and air conditioning*
- [29] Energy Efficiency Strategies,
http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/l27064_en.htm
- [30] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Despacho n.º 16140/2009, de 15 de Julho, D. R. n.º 135, 2ª Série, de 15 de Julho de 2009.
- [31] MONCHY F., *Maintenance, Méthodes et Organisations*, Dunod, ISBN: 2-10-007816X
- [32] Jesus Ferreira Consultores, Energy Consulting, Valor na Energia “Case Study”
[http://www.jesusferreira.com.pt/biblioteca/12_Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Case_Study\(BRF\).pdf](http://www.jesusferreira.com.pt/biblioteca/12_Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Case_Study(BRF).pdf), Maio 2009.
- [33] Pronaci, *Manual Pedagógico Manutenção*, AEP, Março 2003
- [34] Filipe Didelet e José Carlos Viegas, *Manutenção*, 2003
- [35] MIIT, *Manutenção Industrial Informatizada e Tecnologia*, acessado em Abril 2009
<http://83.240.136.253/Miit/Portals/0/fiabilidade/custo%20de%20ciclo%20de%20vida%20e%20metodologia%20RAMS.pdf>
- [36] SCE, *Sistema de certificação energética*, em www.adene.pt, Jun 2008
- [37] InformaWorld, *Fouling of Heat Exchanger Surface: Measurement and diagnosis*,
<http://www.informaworld.com/smpp/title~db=all~content=t713723051~tab=sample>,
Maio 2009
- [38] ACS publications, <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ef000036c>, depósitos de incrustações, Maio 2009
- [39] TA Efluentes, <https://woc.uc.pt/quimica/getFile.do?tipo=2&id=751>, incrustações, processos químicos de combate, acessado PDF em Maio 2009

[40] Nace International,
<http://www.nace.org/content.cfm?parentid=1011¤tID=1044>, corrosão, processos para a evitar, acessado em Maio 2009.

[41] Calejo, Rui. *Gestão de edifícios: modelo de simulação técnico-económica*.
Dissertação de Doutoramento, Faculdade de engenharia da Universidade do Porto, 2001.

[42] António Vasconcelos, *Manutenção preventiva em instalações de edifício*,
Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

Legislação

EN 378 – Líquido frigorífero

Lei nº 37/2007 – Lei do tabaco

Decreto-lei nº 09/2007 – Regulamento geral do ruído

NP 1037:4 – Ventilação de cozinhas profissionais

EN 13779 – Classificação da qualidade do ar (interior / exterior)

Normas de fabricação e especificações técnicas e testes para utilização da marca CE, nomeadamente:

EN 779 – Filtros de ar (Classes de filtros G e F)

EN 12097 – Requisitos para manutenção e higiene interior em condutas e sistemas de condutas de ventilação e ar condicionado (ex. portas de inspeção de 3 em 3 metros) .

NP EN 1505 e 6 – Dimensões de condutas e acessórios de secção rectangular e redonda.

NP EN 13141 – Ensaio de desempenho dos componentes e produtos para ventilação de edifícios.

ANEXOS

Estudo Químico, detalhe de Incrustações.

Limpeza dos permutadores [39]

Nos permutadores pode fazer-se uma limpeza mecânica exterior, a qual facilita a limpeza química. Porém, em interiores de permutadores compactos, a limpeza mecânica é praticamente impossível.

Sabe-se, de acordo com o caso de estudo, que os processos de incrustação nas paredes dos tubos diminuem consideravelmente o rendimento térmico dos permutadores, além de submeter o metal a um sobreaquecimento provocando deformações plásticas, abaulamentos e até ruptura do material.

O tratamento da água de alimentação para o permutador mesmo sendo eficiente e adequado, às vezes não impede que ocorra uma certa quantidade de depósitos na tubulação. Estes depósitos acarretam uma série de inconvenientes, já citados anteriormente, que comprovam a necessidade de uma limpeza para a remoção dos mesmos.

O resultado deste trabalho é obtido a médio e longo prazo, pois desaparecem processos de corrosão e incrustação, melhorando consideravelmente a eficiência do equipamento e por consequência reduzindo o seu consumo energético.

Águas de refrigeração [39]

Dependendo do tamanho do sistema de refrigeração e das condições de operação, a água pode ser limpa, descalcificada e até destilada. Muitas vezes, porém, os sistemas de refrigeração não comportam o uso de águas com tais tratamentos e, em geral, usa-se água “*in natura*” para efectuar as refrigerações.

A maior parte dessas águas tem carácter corrosivo e contém constituintes que podem causar problemas de incrustações, especialmente em superfícies de troca de calor.

Devido ao seu baixo valor de condutibilidade térmica, tais depósitos reduzem a capacidade de troca de calor nas baterias de refrigeração.

As incrustações são, geralmente, óxidos de ferro, carbonato de cálcio, sulfatos, fosfatos, óleos, argilas, etc. Esses depósitos, além de provocarem corrosão, restringem muitas vezes a passagem da água em permutadores de calor, provocando perda de eficiência.

Frequentemente muitos sistemas de refrigeração precisam de limpeza, provocando, com isso, a paralisação do equipamento, tempo a contabilizar pela manutenção.

Duma forma geral pode dizer-se que existem três tipos de sistemas de água de refrigeração:

a) Aquele cuja água de refrigeração não retorna após passar pelo permutador de calor, sendo descarregada no local de origem ou em outra parte qualquer.

Este sistema é empregue quando há suficiente quantidade de água de qualidade satisfatória. O seu custo de manutenção é baixo e um tratamento químico viável da água é a de coloração intermitente. Outros tipos de tratamento químico são, em geral, altamente dispendiosos.

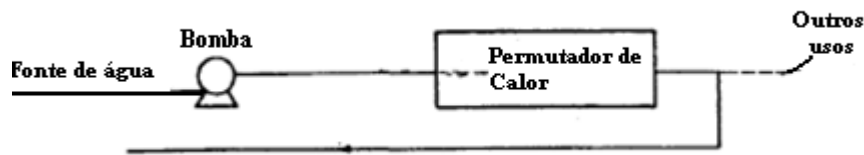


Fig. 40 – Refrigeração água não recirculada [39] e [40]

b) Aquele em que a água circula pelo permutador de calor sofrendo refrigeração em sistema aberto, através de ar, como, por exemplo, em torres de arrefecimento.

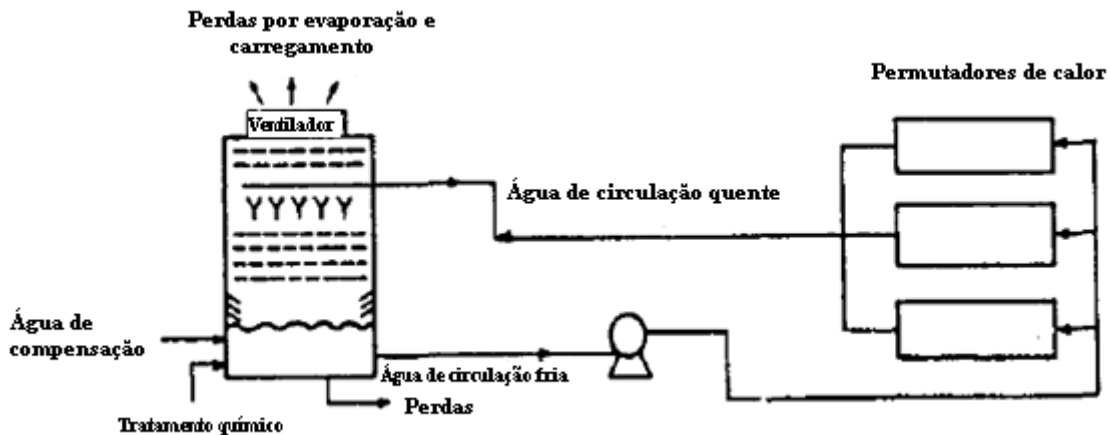


Fig. 41 – Refrigeração com água de recirculação [39] e [40]

Este sistema é usado quando se necessita de muita água para refrigeração mas, porém, a sua fonte produz quantidade limitada dessa água. Uma grande vantagem deste sistema é a possibilidade de se poder tratar quimicamente a água a custos realmente baixos. Uma das desvantagens é o aumento de concentrações de produtos químicos que se observa na água de refrigeração, devido às perdas por evaporação. Esse facto exige reposição de água no sistema e uma descarga para possibilitar a manutenção de um total de sólidos admissíveis.

c) Aquele em que a água recircula no permutador de calor sofrendo refrigeração em sistemas fechados por meio de outro sistema primário de alimentação.

Este terceiro sistema é adoptado quando se deseja manter a água de refrigeração com temperaturas muito baixas.

É usado para refrigeração de compressores, turbinas a gás, permutadores de calor, ar condicionado e sistemas de óleo de lubrificação.

Uso de inibidores de corrosão

Nos itens seguintes será abordado o uso dos inibidores de corrosão para aplicação nos sistemas acima citados para aquecimento e arrefecimento, mostrando como actuam na protecção dos metais, bem como quais as vantagens e desvantagens desses inibidores. No entanto, é de salientar que não há soluções absolutas; quaisquer anormalidades devidas a possíveis interferências no tratamento devem ser estudadas isoladamente para que se lhes aplique a correcção adequada.

Tipos de depósitos geralmente encontrados em sistemas de água.

O tipo de depósito mais encontrado é o carbonato de cálcio. Seguem-se-lhe sulfato de cálcio, silicatos de cálcio e magnésio, óxidos de ferro, óleos, lodo, microrganismos, entre outros.

Os sulfatos e silicatos são, geralmente, encontrados em sistemas de recirculação abertos onde há concentração de produtos químicos devido à perda por evaporação ou pressão. Evitam-se as suas precipitações, limitando as suas concentrações na água, eliminando-os pela descarga do sistema.

O carbonato de cálcio pode precipitar-se pela decomposição de bicarbonatos, geralmente presentes em águas naturais.

A solubilidade do sulfato de cálcio decresce rapidamente a temperaturas maiores que 45°C. Desta forma pode precipitar e formar duras incrustações sobre os metais de um permutador de calor.

Os silicatos de cálcio e magnésio formados pela reacção entre esses cations e a sílica presente na água precipitam e formam também duras incrustações em sistemas de água de refrigeração.

Os produtos de corrosão, como óxidos de ferro, formam depósitos volumosos, que frequentemente restringem a passagem da água nos permutadores de calor e reduzem a sua eficiência, conforme demonstrado.

Índice de Langelier

Porém existem substâncias que apresentam difícil dissolução e as que, com um aumento da temperatura, se tornam cada vez menos solúveis, como é o caso do CaSO₄ (sulfato de cálcio). Outras substâncias como o CaCO₃ (carbonato de cálcio), mesmo aumentando a temperatura conservam a sua solubilidade quase que inalterada.

O índice de *Langelier* é definido como sendo a diferença algébrica entre o pH real da água, medido com potenciómetros, e o pH de saturação dessa água calculado em função da dureza devida ao cálcio (em termos de CaCO₃), da alcalinidade total da água (em termos de CaCO₃), do total de sólidos dissolvidos em ppm's e de sua temperatura em °C.

$$IL = \text{pH}_{\text{real}} - \text{pH}_{\text{saturação}}$$

O Índice de *Langelier* é um valor usado para prever se uma determinada água apresenta tendência para depositar carbonato de cálcio sobre os metais de um permutador de calor. Através dele pode-se, mediante correcção do valor pH real da água, evitar a precipitação de carbonato de cálcio.

O pH de saturação de uma água é calculado como segue:

$$\text{pH} = \text{pCa} + \text{pAlc} + C$$

onde:

- pCa é um factor logarítmico do valor da dureza de cálcio;
- pAlc é um factor logarítmico do valor da alcalinidade total e
- C é um factor logarítmico do total de sólidos dissolvidos na água.

Se os valores do Índice de *Langelier* são positivos, indicam a tendência que a água apresenta para precipitar carbonato de cálcio.

Se os valores forem negativos, indicam a tendência que a água apresenta para manter carbonato de cálcio em solução e assume-se, neste caso, que a água apresenta carácter corrosivo.

Um valor zero para o Índice de *Langelier* indica que o carbonato de cálcio presente não tem tendência nem para precipitar nem para se dissolver.

Muitos autores recomendam um intervalo de -0,5 a +0,5 para o Índice de *Langelier* a fim de que a água não apresente uma tendência muito grande para depositar CaCO₃ sobre superfícies de permutadores, nem tenha um carácter acentuadamente corrosivo.

Inibidores de incrustação

Os inibidores de incrustação são produtos que adicionados à água de refrigeração em pequenas quantidades, evitam a deposição sobre os metais de um permutador de calor dos compostos já citados anteriormente.

São quatro os tipos de inibidores de incrustação: floculantes, dispersantes, quelatos e fosfonatos (polifosfonatos por extensão).

Inibidores de incrustação / Floculantes

São polímeros catiónicos naturais ou sintéticos cujas propriedades como agente floculante foram referidas anteriormente. O mecanismo da actuação de um polímero catiónico no tratamento de águas de refrigeração é o mesmo que o realizado na clarificação da água.

Os flocos formados nos sistemas de água de refrigeração, devido ao uso dos polímeros em questão, não são incrustantes e podem ser eliminados por descarga da água em sistemas de refrigeração abertos onde são especialmente usados. Sistemas de recirculação fechados não apresentam a tendência de ter o número de flocos aumentado durante o período de funcionamento do sistema.

Os polímeros catiónicos têm provado a sua eficiência em muitos sistemas de água de refrigeração, principalmente no que concerne às incrustações de óxido de ferro.

A manutenção de cerca de 5 ppm de um polielectrólito catiónico como o p-dimetilamino etil acrilato e cerca de 10 ppm de cromato são suficientes para tratar uma água de refrigeração que não apresente mais de 80 ppm de dureza de cálcio. O valor pH da água pode ser mantido em torno de 7.0.

Inibidores de incrustação / Dispersantes

Estes inibidores são polímeros aniónicos naturais ou sintéticos e actuam geralmente como dispersantes.

As cargas negativas que o polímero confere às matérias presentes na água mantêm-nas em suspensão. Esses polímeros reagem ainda com os compostos de cálcio, magnésio e

ferro modificando a sua estrutura e evitando precipitações sobre os metais de um permutador de calor.

Também, neste caso, a manutenção de cerca de 5 ppm de um dispersante como p-viniltolueno ácido sulfónico ou carboximetilcelulose e cerca de 10 ppm de cromato serão suficientes para o tratamento de água de refrigeração de dureza de 80 ppm.

Os polímeros não iónicos são excelentes dispersantes de óleos. Dispersam o óleo presente em águas de refrigeração em pequenas gotículas, o que facilita a sua eliminação por descarga num sistema de recirculação aberto.

Os polímeros não iónicos agem, também, como emulsificantes de óleo e evitam, deste modo, que óleos possam causar problemas em permutadores de calor. A utilização destes polímeros em concentrações de poucos ppm (5 ppm), pode ser suficiente para eliminar qualquer dificuldade em relação à presença de óleos em águas.

Inibidores de incrustação / Quelatos

Os quelatos são compostos orgânicos naturais ou sintéticos que têm a propriedade de formar complexos solúveis com cálcio, magnésio e ferro. A reacção dos quelatos com esses metais faz-se estequiometricamente, o que exige uma grande quantidade de quelato para o tratamento de uma água de refrigeração. Este facto pode encarecer muito o tratamento, o que leva a que este processo não seja muito adoptado.

Inibidores de incrustação / Fosfonatos

Certos fosfonatos apresentam a propriedade de inibir incrustações em sistemas de águas de refrigeração. Presume-se que eles actuam de forma semelhante à dos polifosfatos, no que concerne às reacções com cálcio e magnésio.

Porém, têm a vantagem de que os compostos resultantes apresentam maior estabilidade nas mesmas temperaturas e, desta forma, não propiciam a formação de ortofosfatos insolúveis como os polifosfatos.

Fungos, algas e bactérias

Estão presentes em todas as águas “*in natura*” e não representam problemas em sistemas de águas de refrigeração que utilizam água clarificada, geralmente clorada.

Porém, em águas não-clarificadas, esses microrganismos proliferam constituindo uma ameaça para permutadores de calor, especialmente para condensadores, causando corrosão e entupimento de tubos.

Bactérias, algas e fungos são plantas talófilas unicelulares ou multicelulares. Estes microrganismos estão presentes em toda parte, especialmente em águas poluídas onde há presença de matéria orgânica. Esses microrganismos, contudo, podem estar presentes também em águas onde não haja presença de matéria orgânica. Neste caso não proliferam tanto.

Desses microrganismos, as bactérias são as espécies de menores dimensões. Podem ser aeróbicos ou anaeróbicos e não precisam da acção da luz para a sua multiplicação. As bactérias aparecem em quase todas as águas como resultado da decomposição de certos tipos de matéria orgânica nelas presentes. Procriam-se, preferivelmente, em lodo que geralmente se fixa nas paredes de reservatórios de águas ou em torres de sistemas de refrigeração de água.

As algas multiplicam-se em ambientes onde haja água, ar e luz. De modo geral todas as algas causam problemas para sistemas de águas de refrigeração.

Contudo o tipo clorofícea é o que causa maiores danos devido ao facto de ser tanto unicelular como multicelular.

Este tipo é representado por colónias, filamentos simples e ramificados e talos maciços que dão a impressão de ser vegetal superior. A sua coloração é verde. As algas preferem incorporar-se no lodo presente nas águas, pois aí encontram o seu alimento em maior quantidade do que em outra qualquer parte da água em questão. Em sistemas de água de refrigeração as algas fixam-se sobre as paredes dos tanques e especialmente nas partes superiores de torres de refrigeração onde as condições lhes são mais favoráveis.

Os biocidas, frequentemente usados para combater os microrganismos em questão, são: cloro, hipoclorito de sódio, triclorofenato de sódio, pentaclorofenato de sódio, sulfato de cobre, quinonas, tributil estanho, sais de amónio quaternário (alquil dimetil-benzil amónio cloreto), imidazolinas e compostos organossulfurosos.

De acordo com as actividades químicas esses biocidas são classificados como bactericidas, algicidas ou fungicidas.

Alguns possuem actividades múltiplas, tais como bactericidas e algicidas.

O cloro é o agente bactericida mais usado em sistemas de água, especialmente em sistemas abertos. As doses recomendáveis de cloro gasoso para estes casos são de 0,5 a 1,0 ppm e não devem ser contínuas para evitar imunização do microrganismo.

Em doses de 4 a 6 ppm o cloro funciona como algicida e fungicida, porém, nestas concentrações, ele pode atacar partes metálicas do sistema, bem como, partes de madeira de torres de refrigeração a valores pH de 6,0. Estas concentrações elevadas de cloro podem ser adoptadas como “doses de choque”, aplicadas apenas uma vez por semana, por uns 30 a 60 minutos. Findo este período deve-se passar a água por filtros de carvão activado para remoção do cloro.

O sulfato de cobre e quinonas em doses de choque de 2 a 50 ppm, aplicadas uma vez por semana, podem ser usados como algicidas.

Os sais de amónio quaternário em doses de choque, aplicados uma vez por semana, em concentrações de 30 a 100 ppm e os pentaclorofenato de sódio em doses de choque, aplicados uma vez por semana, em concentrações de 50 a 200 ppm, têm apresentado excelentes resultados como algicidas e fungicidas.

Os compostos organossulfurosos com aminas em doses de choque, aplicados uma vez por semana, em concentrações de 5 a 100 ppm têm comprovado a sua eficiência na eliminação de bactérias redutoras de sulfato.

Os compostos organossulfurosos têm sido usados em “doses de choque” em concentrações de 50 a 500 ppm para exterminar fungos e bactérias. Muitas vezes esses compostos são coadjuvados por clorofenatos para aumentar a acção fungicida.

Conjunto de expressões utilizadas nos diversos capítulos

Cálculos de coeficientes de transferência de calor.

Tubo de cobre não alhetado SS302. R_w (400 w/m.k)	
Água (i) interior da tubagem.	Ar (o) exterior da tubagem.
$R_{f,i}$ (Factor incrustação interior).	$R_{f,o}$ (Factor de incrustação exterior).
$T_{m,i}$ 75°C ou 348K e $V_{m,i}$ 0,5m/s	T_{o} 15°C 288K e V_o 20 m/s
Consulta tabela A4 Incropera [8]	Consulta Tabela A6 Incropera [8]

Tabela 17 – Tabela resumo de valores iniciais de parametrização.

Através da consulta do livro “*Incropera*” [8] foram adoptadas as seguintes expressões numéricas para simulação dos vários cenários de velocidades de fluidos interiores e exteriores, ao qual o permutador de fluxos cruzados está exposto, assumiu-se condições de regime permanente e escoamento interno totalmente desenvolvido.

Observações	Valores e Expressões matemáticas utilizados
Da tabela A4 em (anexos) e relativamente ao fluido (ar) a uma temperatura de 315K e 1atm. Retirou-se o valor de viscosidade cinemática e nº de Prandtl exterior.	$\nu_o = 17,35 * 10^{-6} m^2/s, Pr_o = 0,705$
Tabela A4 (anexos), é retirado o valor do coeficiente de condutibilidade térmica (ar exterior)	$K_o = 0,02737 W/mK$
Tabela A6 (anexos) – retirar para as condições propostas do fluido interior a 348K, o valor da resistência da água interior e o respectivo nº de Prandtl	$K_i = 0,668 W/mK, Pri = 2,354$

(recorrendo à densidade (ρ) e viscosidade dinâmica (μ)).

Calcula-se o Reynolds relativo ao fluido interior (água) tendo velocidade, diâmetro e viscosidade cinemática.

$$ReDi = \frac{u_{m,i}Di}{\nu_i}$$

Calcula-se o nº de Nusselt relativo ao fluido interior.

$$Nu_{D,i} = 0,023Re^{0,8}D \cdot i Pr_i^{0,4}$$

Cálculo do coeficiente convectivo interior.

$$h_i = \frac{Nu_{D,i}Ki}{Di} W/m^2K$$

Executa-se os mesmos passos como para o fluido interior, desta vez para o fluido exterior, cálculo de Reynolds exterior (ar).

$$Re_{D,o} = \frac{V_o D_o}{\nu_o}$$

Usando a correlação de Churchill Bernstein determina-se a temperatura da superfície ($T_{s,o}$), assume-se 315K.

$$(T_{m,i} - T_o)/R_{tot} = (T_{s,o} - T_o)/R_{cv,o}$$

Cálculo do Nusselt para o exterior (ar).

$$\overline{Nu}_{D_o} = 0,3 + \frac{0,62Re_{D_o}^{1/2}Pr_o}{[1 + (0,4/Pr_o)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_{D_o}}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

Coeficiente convectivo exterior.

$$h_o = \frac{\overline{Nu}_{D_o}k_o}{D_o} W/m^2K$$

Resistência convectiva interior

$$R_{cv,i} = \frac{1}{h_i \cdot Ai} K/W$$

Resistência convectiva exterior

$$R_{cv,o} = \frac{1}{h_o \cdot Ao} K/W$$

Factor de incrustação interior.

$$R_{f,i} = \frac{R_{f,i}}{Ai} K/W$$

Factor de incrustação exterior.

$$R_{f,o} = \frac{R_{f,o}}{Ai} K/W$$

Resistência de condução do cobre.

$$R_w = \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) / (2\pi Lkw) K/W$$

Expressão para retirar o coeficiente global de transferência de calor (W/m^2K).

$$\frac{1}{U_o A_o} = R_{tot} = R_{cv.i} + R_{f.i} + R_w + R_{f.o} + R_{cv.o}$$

Tabela 18 – Resumo de expressões matemáticas utilizadas no cálculo da transferência de calor [8].

Observações	Expressão
Cálculo de Reynolds para encontrar o regime em que se está a trabalhar (relação entre velocidade, diâmetro da tubagem e viscosidade cinemática do fluido).	$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$
Factor de resistência ou factor Darcy-Weisbach (Diagrama de Moody)	$f=0,3164(Re)^{-0,25}$
Cálculo da perda de carga a vencer.	$\Delta p = \frac{f \cdot \rho \cdot L \cdot V^2}{2D}$
Cálculo da Potência necessária para a bomba vencer a perda de carga.	$P(kW) = \frac{\gamma \times Q(t) \times H(t)}{\eta_c \times \eta_m}$

Tabela 19 - Resumo de expressões matemáticas utilizadas no cálculo da potência dispendida no circuito hidráulico [8].

Observações	Expressão matemática
IEEi - Índice de eficiência energética de aquecimento.	$IEEi = (Q_{ac} / A_p) * F_{ci} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$
IEEv - Índice de eficiência energética de arrefecimento	$IEEv = (Q_{arr} / A_p) * F_{cv} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$ $IEEi = IEEi_{ac} + IEEi_{vent}$
Q_{ac} - Consumo de energia de aquecimento, conversão para (kgep/m ² .ano)	$IEEi = (Q_{ac} / \eta) * F_{ci} * F_{pu} + (Q_{vent} * 0.5) * F_{ci} * F_{pu} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$ $IEEv = IEEv_{arr} + IEEv_{vent}$

Qarr - Consumo de energia de arrefecimento, conversão para (kgep/m2.ano)

IEEo – Índice de eficiência energética relativa à soma de cargas de iluminação, equipamentos e ocupação.

Qequip - Consumo de equipamento

Qilum - Consumo de Iluminação

Qocup - Carga de ocupação

Fci - Factores de correcção climáticas inverno.

NiI – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE (art.º 15º), calculadas na zona onde está localizado o edifício (kWh/m².ano).

Fcv – Factores de correcção climáticas verão.

Nv1 – Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE (art.º 15º), calculadas para o edifício na zona da referência I1V1N (kWh/m².ano)

$$IEEv = (Qarr/\eta) * Fcv * Fpu + (Qvent * 0.5) * Fcv * Fpu \text{ (kgep/m2.ano)}$$

$$IEEo = IEEo_ilum + IEEo_equip$$

$$IEEo = (Qilum) * Fpu + (Qequip) * Fpu + (Qocup) * Fpu \text{ (kgep/m2.ano)}$$

$$Fci = \frac{NiI}{Ni}$$

$$Fcv = \frac{Nv1}{Ni}$$

Tabela 20 – Expressões matemáticas utilizadas para cálculo do índice de eficiência energética [4]

Tabelas de propriedades físicas da matéria (A4 e A6)

Tabela A4 - INCROPERA - 4ª Edição

Gases

Apêndice A ■ Propriedades Termofísicas da Matéria

TABELA A.4 Propriedades Termofísicas de Gases à Pressão Atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Ar							
100	3,5562	1,032	71,1	2,00	9,34	2,54	0,786
150	2,3364	1,012	103,4	4,426	13,8	5,84	0,758
200	1,7458	1,007	132,5	7,590	18,1	10,3	0,737
250	1,3947	1,006	159,6	11,44	22,3	15,9	0,720
300	1,1614	1,007	184,6	15,89	26,3	22,5	0,707
350	0,9950	1,009	208,2	20,92	30,0	29,9	0,700
400	0,8711	1,014	230,1	26,41	33,8	38,3	0,690
450	0,7740	1,021	250,7	32,39	37,3	47,2	0,686
500	0,6964	1,030	270,1	38,79	40,7	56,7	0,684
550	0,6329	1,040	288,4	45,57	43,9	66,7	0,683
600	0,5804	1,051	305,8	52,69	46,9	76,9	0,685
650	0,5356	1,063	322,5	60,21	49,7	87,3	0,690
700	0,4975	1,075	338,8	68,10	52,4	98,0	0,695
750	0,4643	1,087	354,6	76,37	54,9	109	0,702
800	0,4354	1,099	369,8	84,93	57,3	120	0,709
850	0,4097	1,110	384,3	93,80	59,6	131	0,716
900	0,3868	1,121	398,1	102,9	62,0	143	0,720
950	0,3666	1,131	411,3	112,2	64,3	155	0,723
1.000	0,3482	1,141	424,4	121,9	66,7	168	0,726
1.100	0,3166	1,159	449,0	141,8	71,5	195	0,728
1.200	0,2902	1,175	473,0	162,9	76,3	224	0,728
1.300	0,2679	1,189	496,0	185,1	82	238	0,719
1.400	0,2488	1,207	530	213	91	303	0,703
1.500	0,2322	1,230	557	240	100	350	0,685
1.600	0,2177	1,248	584	268	106	390	0,688
1.700	0,2049	1,267	611	298	113	435	0,685
1.800	0,1935	1,286	637	329	120	482	0,683
1.900	0,1833	1,307	663	362	128	534	0,677
2.000	0,1741	1,337	689	396	137	589	0,672
2.100	0,1658	1,372	715	431	147	646	0,667
2.200	0,1582	1,417	740	468	160	714	0,655
2.300	0,1513	1,478	766	506	175	783	0,647
2.400	0,1448	1,558	792	547	196	869	0,630
2.500	0,1389	1,665	818	589	222	960	0,613
3.000	0,1135	2,726	955	841	486	1.570	0,536
Amônia (NH₃)							
300	0,6894	2,158	101,5	14,7	24,7	16,6	0,887
320	0,6448	2,170	109	16,9	27,2	19,4	0,870
340	0,6059	2,192	116,5	19,2	29,3	22,1	0,872
360	0,5716	2,221	124	21,7	31,6	24,9	0,872
380	0,5410	2,254	131	24,2	34,0	27,9	0,869
400	0,5136	2,287	138	26,9	37,0	31,5	0,853
420	0,4888	2,322	145	29,7	40,4	35,6	0,833
440	0,4664	2,357	152,5	32,7	43,5	39,6	0,826
460	0,4460	2,393	159	35,7	46,3	43,4	0,822
480	0,4273	2,430	166,5	39,0	49,2	47,4	0,822
500	0,4101	2,467	173	42,2	52,5	51,9	0,813
520	0,3942	2,504	180	45,7	54,5	55,2	0,827
540	0,3795	2,540	186,5	49,1	57,5	59,7	0,824
560	0,3708	2,577	193	52,0	60,6	63,4	0,827
580	0,3533	2,613	199,5	56,5	63,8	69,1	0,817

Apêndice A ■ Propriedades Termofísicas da Matéria

Tabela A6 - Incropera - Água

Sat.

TABELA A.6 Propriedades Termofísicas da Água Saturada*

Temperatura, T (K)	Pressão, P (bar) ^b	Volume Específico (m ³ /kg)		Calor de Vaporização h_{fg} (kJ/kg)	Calor Específico (kJ/kg · K)		Viscosidade (N · s/m ²)	Condutividade Térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensão Superficial, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de Expansão Térmica, $\beta_f \cdot 10^4$ (K ⁻¹)	Temperatura, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$		$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273,15	0,00611	1,000	206,3	2,502	4,217	1,854	1,750	8,02	569	18,2	12,99	0,815	-68,05	273,15
275	0,00697	1,000	181,7	2,497	4,211	1,855	1,652	8,09	574	18,3	12,22	0,817	-32,74	275
280	0,00990	1,000	130,4	2,485	4,198	1,858	1,422	8,29	582	18,6	10,26	0,825	46,04	280
285	0,01387	1,000	99,4	2,473	4,189	1,861	1,225	8,49	590	18,9	8,81	0,833	114,1	285
290	0,01917	1,001	69,7	2,461	4,184	1,864	1,080	8,69	598	19,3	7,56	0,841	174,0	290
295	0,02617	1,002	51,94	2,449	4,181	1,868	959	8,89	606	19,5	6,62	0,849	227,5	295
300	0,03531	1,003	39,13	2,438	4,179	1,872	855	9,09	613	19,6	5,83	0,857	276,1	300
305	0,04712	1,005	29,74	2,426	4,178	1,877	769	9,29	620	20,1	5,20	0,865	320,6	305
310	0,06221	1,007	22,93	2,414	4,178	1,882	695	9,49	628	20,4	4,62	0,873	361,9	310
315	0,08132	1,009	17,82	2,402	4,179	1,888	631	9,69	634	20,7	4,16	0,883	400,4	315
320	0,1053	1,011	13,98	2,390	4,180	1,895	577	9,89	640	21,0	3,77	0,894	436,7	320
325	0,1351	1,013	11,06	2,378	4,182	1,903	528	10,09	645	21,3	3,42	0,901	471,2	325
330	0,1719	1,016	8,82	2,366	4,184	1,911	489	10,29	650	21,7	3,15	0,908	504,0	330
335	0,2167	1,018	7,09	2,354	4,186	1,920	453	10,49	656	22,0	2,88	0,916	535,5	335
340	0,2713	1,021	5,74	2,342	4,188	1,930	420	10,69	660	22,3	2,66	0,925	566,0	340
345	0,3372	1,024	4,683	2,329	4,191	1,941	389	10,89	668	22,6	2,45	0,933	595,4	345
350	0,4163	1,027	3,846	2,317	4,195	1,954	365	11,09	668	23,0	2,29	0,942	624,2	350
355	0,5100	1,030	3,180	2,304	4,199	1,968	343	11,29	671	23,3	2,14	0,951	652,3	355
360	0,6209	1,034	2,645	2,291	4,203	1,983	324	11,49	674	23,7	2,02	0,960	697,9	360
365	0,7514	1,038	2,212	2,278	4,209	1,999	306	11,69	677	24,1	1,91	0,969	707,1	365
370	0,9040	1,041	1,861	2,265	4,214	2,017	289	11,89	679	24,5	1,80	0,978	728,7	370
373,15	1,0133	1,044	1,679	2,257	4,217	2,029	279	12,02	680	24,8	1,76	0,984	750,1	373,15
375	1,0815	1,045	1,574	2,252	4,220	2,036	274	12,09	681	24,9	1,70	0,987	761	375
380	1,2869	1,049	1,337	2,239	4,226	2,057	260	12,29	683	25,4	1,61	0,999	788	380
385	1,5233	1,053	1,142	2,225	4,232	2,080	248	12,49	685	25,8	1,53	1,004	814	385
390	1,794	1,058	0,980	2,212	4,239	2,104	237	12,69	686	26,3	1,47	1,013	841	390
400	2,455	1,067	0,731	2,183	4,256	2,158	217	13,05	688	27,2	1,34	1,033	896	400
410	3,302	1,077	0,553	2,153	4,278	2,221	200	13,42	688	28,2	1,24	1,054	952	410
420	4,370	1,088	0,425	2,123	4,302	2,291	185	13,79	688	29,8	1,16	1,075	1,010	420
430	5,699	1,099	0,331	2,091	4,331	2,369	173	14,14	685	30,4	1,09	1,10	47,2	430

Tabelas utilizadas para o cálculo do conjunto de perdas energéticas existentes nos vários componentes.

Valores calculados para o primeiro trimestre do primeiro ano de operação sem manutenção:

Anos	Dias	$y = 0,16x - 0,189$	$Y=0,039x+0,145$	$Y=0,0003x^2+0,0085x+0,0173$	$Y=0,0002e^{0,6359x}$	Conjunto
		Filtro	Deflexão	Desalinhamento	Permutador	
		% Perdas energ.	% Perdas energ.	% Perdas energ.	% Perdas energ.	% Perdas energ.
0,000	0	0,000	0,000		0,017	0,039
0,003	1	0,000	0,000		0,026	0,048
0,005	2	0,131	0,223		0,036	0,411
0,008	3	0,404	0,262		0,046	0,734
0,011	4	0,451	0,301		0,056	0,830
0,014	5	0,611	0,340		0,067	1,040
0,016	6	0,820	0,379		0,079	1,300
0,019	7	0,931	0,418		0,092	1,463
0,022	8	1,091	0,457		0,105	1,675
0,025	9	1,246	0,496		0,118	1,882
0,027	10	1,411	0,535		0,132	2,101
0,030	11	1,571	0,574		0,147	2,314
0,033	12	1,682	0,613		0,163	2,480
0,036	13	1,891	0,652		0,179	2,744
0,038	14	2,051	0,691		0,195	2,960
0,041	15	2,130	0,730		0,212	3,095
0,044	16	2,371	0,769		0,230	3,393
0,047	17	2,531	0,808		0,249	3,610
0,049	18	2,588	0,847		0,268	3,725
0,052	19	2,851	0,886		0,287	4,047
0,055	20	3,011	0,925		0,307	4,266
0,058	21	3,058	0,964		0,328	4,372
0,060	22	3,331	1,003		0,350	4,706
0,063	23	3,491	1,042		0,372	4,927
0,066	24	3,538	1,081		0,394	5,036
0,068	25	3,811	1,120		0,417	5,371
0,071	26	3,971	1,159		0,441	5,594
0,074	27	4,028	1,198		0,466	5,715
0,077	28	4,291	1,237		0,491	6,041
0,079	29	4,451	1,276		0,516	6,266
1 mês	0,082	4,611	1,315		0,542	6,491
	0,085	4,771	1,354		0,569	6,717
	0,088	4,931	1,393		0,597	6,944
	0,090	5,042	1,432		0,625	7,122
	0,093	5,251	1,471		0,653	7,398

Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC

0,096	35	5,411	1,510	0,682	0,023277	7,627
0,099	36	5,566	1,549	0,712	0,023318	7,850
0,101	37	5,731	1,588	0,743	0,023358	8,085
0,104	38	5,891	1,627	0,774	0,023399	8,315
0,107	39	6,100	1,666	0,805	0,023440	8,594
0,110	40	6,211	1,705	0,837	0,023481	8,777
0,112	41	6,371	1,744	0,870	0,023522	9,009
0,115	42	6,644	1,783	0,904	0,023563	9,354
0,118	43	6,691	1,822	0,938	0,023604	9,474
0,121	44	6,851	1,861	0,972	0,023645	9,708
0,123	45	7,200	1,900	1,007	0,023686	10,131
0,126	46	7,171	1,939	1,043	0,023727	10,177
0,129	47	7,331	1,978	1,080	0,023769	10,412
0,132	48	7,491	2,017	1,117	0,023810	10,648
0,134	49	7,651	2,056	1,154	0,023852	10,885
0,137	50	7,811	2,095	1,192	0,023893	11,122
0,140	51	7,971	2,134	1,231	0,023935	11,360
0,142	52	8,131	2,173	1,271	0,023977	11,598
0,145	53	8,291	2,212	1,311	0,024018	11,838
0,148	54	8,451	2,251	1,351	0,024060	12,077
0,151	55	8,611	2,290	1,392	0,024102	12,317
0,153	56	8,771	2,329	1,434	0,024144	12,558
0,156	57	8,931	2,368	1,477	0,024186	12,800
0,159	58	9,091	2,407	1,520	0,024229	13,042
0,162	59	9,251	2,446	1,563	0,024271	13,284
2 meses	0,164	60	9,411	2,485	1,607	13,528
0,167	61	9,571	2,524	1,652	0,024356	13,771
0,170	62	9,731	2,563	1,698	0,024398	14,016
0,173	63	9,891	2,602	1,744	0,024441	14,261
0,175	64	10,051	2,641	1,790	0,024483	14,507
0,178	65	10,211	2,680	1,837	0,024526	14,753
0,181	66	10,371	2,719	1,885	0,024569	15,000
0,184	67	10,531	2,758	1,934	0,024611	15,247
0,186	68	10,691	2,797	1,983	0,024654	15,495
0,189	69	10,851	2,836	2,032	0,024697	15,744
0,192	70	11,011	2,875	2,082	0,024740	15,993
0,195	71	11,171	2,914	2,133	0,024784	16,243
0,197	72	11,331	2,953	2,185	0,024827	16,493
0,200	73	11,491	2,992	2,237	0,024870	16,744
0,203	74	11,651	3,031	2,289	0,024913	16,996
0,205	75	11,811	3,070	2,342	0,024957	17,248
0,208	76	11,971	3,109	2,396	0,025000	17,501
0,211	77	12,131	3,148	2,451	0,025044	17,755
0,214	78	12,291	3,187	2,506	0,025088	18,009
0,216	79	12,451	3,226	2,561	0,025131	18,263
0,219	80	12,611	3,265	2,617	0,025175	18,518

Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC

0,222	81	12,771	3,304	2,674	0,025219	18,774	
0,225	82	12,931	3,343	2,732	0,025263	19,031	
0,227	83	13,091	3,382	2,790	0,025307	19,288	
0,230	84	13,251	3,421	2,848	0,025351	19,545	
0,233	85	13,411	3,460	2,907	0,025396	19,804	
0,236	86	13,571	3,499	2,967	0,025440	20,063	
0,238	87	13,731	3,538	3,028	0,025484	20,322	
0,241	88	13,891	3,577	3,089	0,025529	20,582	
0,244	89	14,051	3,616	3,150	0,025573	20,843	
3 meses	0,247	90	14,211	3,655	3,212	0,025618	21,104

Valores da percentagem de perda de eficiência existindo manutenção 10º Ano

9 meses	9,753	0	3560	-0,189	0,145	0,017	10,815000	10,788
	9,756	1	3561	-0,029	0,184	0,026	10,833859	11,015
	9,759	2	3562	0,131	0,223	0,036	10,852750	11,242
	9,762	3	3563	0,291	0,262	0,046	10,871674	11,470
	9,764	4	3564	0,451	0,301	0,056	10,890631	11,699
	9,767	5	3565	0,611	0,340	0,067	10,909621	11,928
	9,770	6	3566	0,771	0,379	0,079	10,928644	12,158
	9,773	7	3567	0,931	0,418	0,092	10,947701	12,388
	9,775	8	3568	1,091	0,457	0,105	10,966790	12,619
	9,778	9	3569	1,251	0,496	0,118	10,985913	12,851
	9,781	10	3570	1,411	0,535	0,132	11,005069	13,083
	9,784	11	3571	1,571	0,574	0,147	11,024259	13,316
	9,786	12	3572	1,731	0,613	0,163	11,043482	13,550
	9,789	13	3573	1,891	0,652	0,179	11,062739	13,784
	9,792	14	3574	2,051	0,691	0,195	11,082029	14,019
	9,795	15	3575	2,211	0,730	0,212	11,101353	14,255
	9,797	16	3576	2,371	0,769	0,230	11,120710	14,491
	9,800	17	3577	2,531	0,808	0,249	11,140102	14,728
	9,803	18	3578	2,691	0,847	0,268	11,159527	14,965
	9,805	19	3579	2,851	0,886	0,287	11,178986	15,203
	9,808	20	3580	3,011	0,925	0,307	11,198479	15,442
	9,811	21	3581	3,171	0,964	0,328	11,218006	15,681
	9,814	22	3582	3,331	1,003	0,350	11,237566	15,921
	9,816	23	3583	3,491	1,042	0,372	11,257162	16,162
	9,819	24	3584	3,651	1,081	0,394	11,276791	16,403
	9,822	25	3585	3,811	1,120	0,417	11,296454	16,645
	9,825	26	3586	3,971	1,159	0,441	11,316152	16,887
	9,827	27	3587	4,131	1,198	0,466	11,335884	17,130
	9,830	28	3588	4,291	1,237	0,491	11,355651	17,374

Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC

	9,833	29	3589	4,451	1,276	0,516	11,375452	17,619
10 mês	9,836	30	3590	4,611	1,315	0,542	11,395287	17,864
	9,838	31	3591	4,771	1,354	0,569	11,415157	18,109
	9,841	32	3592	4,931	1,393	0,597	11,435062	18,356
	9,844	33	3593	5,091	1,432	0,625	11,455001	18,603
	9,847	34	3594	5,251	1,471	0,653	11,474975	18,850
	9,849	35	3595	5,411	1,510	0,682	11,494985	19,098
	9,852	36	3596	5,571	1,549	0,712	11,515028	19,347
	9,855	37	3597	5,731	1,588	0,743	11,535107	19,597
	9,858	38	3598	5,891	1,627	0,774	11,555221	19,847
	9,860	39	3599	6,051	1,666	0,805	11,575370	20,097
	9,863	40	3600	6,211	1,705	0,837	11,595554	20,349
	9,866	41	3601	6,371	1,744	0,870	11,615774	20,601
	9,868	42	3602	6,531	1,783	0,904	11,636028	20,854
	9,871	43	3603	6,691	1,822	0,938	11,656318	21,107
	9,874	44	3604	6,851	1,861	0,972	11,676643	21,361
	9,877	45	3605	7,011	1,900	1,007	11,697004	21,615
	9,879	46	3606	7,171	1,939	1,043	11,717400	21,871
	9,882	47	3607	7,331	1,978	1,080	11,737832	22,126
	9,885	48	3608	7,491	2,017	1,117	11,758299	22,383
	9,888	49	3609	7,651	2,056	1,154	11,778802	22,640
	9,890	50	3610	7,811	2,095	1,192	11,799341	22,898
	9,893	51	3611	7,971	2,134	1,231	11,819916	23,156
	9,896	52	3612	8,131	2,173	1,271	11,840526	23,415
	9,899	53	3613	8,291	2,212	1,311	11,861173	23,675
	9,901	54	3614	8,451	2,251	1,351	11,881855	23,935
	9,904	55	3615	8,611	2,290	1,392	11,902574	24,196
	9,907	56	3616	8,771	2,329	1,434	11,923328	24,457
	9,910	57	3617	8,931	2,368	1,477	11,944119	24,720
	9,912	58	3618	9,091	2,407	1,520	11,964946	24,982
	9,915	59	3619	9,251	2,446	1,563	11,985810	25,246
11 meses	9,918	60	3620	9,411	2,485	1,607	12,006709	25,510
	9,921	61	3621	9,571	2,524	1,652	12,027646	25,775
	9,923	62	3622	9,731	2,563	1,698	12,048618	26,040
	9,926	63	3623	9,891	2,602	1,744	12,069628	26,306
	9,929	64	3624	10,051	2,641	1,790	12,090674	26,573
	9,932	65	3625	10,211	2,680	1,837	12,111756	26,840
	9,934	66	3626	10,371	2,719	1,885	12,132876	27,108
	9,937	67	3627	10,531	2,758	1,934	12,154032	27,377
	9,940	68	3628	10,691	2,797	1,983	12,175225	27,646
	9,942	69	3629	10,851	2,836	2,032	12,196455	27,916
	9,945	70	3630	11,011	2,875	2,082	12,217722	28,186
	9,948	71	3631	11,171	2,914	2,133	12,239026	28,457
	9,951	72	3632	11,331	2,953	2,185	12,260368	28,729
	9,953	73	3633	11,491	2,992	2,237	12,281746	29,001
	9,956	74	3634	11,651	3,031	2,289	12,303162	29,274

Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC

9,959	75	3635	11,811	3,070	2,342	12,324615	29,548	
9,962	76	3636	11,971	3,109	2,396	12,346106	29,822	
9,964	77	3637	12,131	3,148	2,451	12,367634	30,097	
9,967	78	3638	12,291	3,187	2,506	12,389199	30,373	
9,970	79	3639	12,451	3,226	2,561	12,410802	30,649	
9,973	80	3640	12,611	3,265	2,617	12,432443	30,926	
9,975	81	3641	12,771	3,304	2,674	12,454122	31,203	
9,978	82	3642	12,931	3,343	2,732	12,475838	31,481	
9,981	83	3643	13,091	3,382	2,790	12,497592	31,760	
9,984	84	3644	13,251	3,421	2,848	12,519385	32,039	
9,986	85	3645	13,411	3,460	2,907	12,541215	32,320	
9,989	86	3646	13,571	3,499	2,967	12,563083	32,600	
9,992	87	3647	13,731	3,538	3,028	12,584989	32,881	
9,995	88	3648	13,891	3,577	3,089	12,606934	33,163	
9,997	89	3649	14,051	3,616	3,150	12,628917	33,446	
Fim 10 Ano	10,000	90	3650	14,211	3,655	3,212	12,650938	33,729