

Gestão da Manutenção ou Gestão de Activos? (custos ao longo do Ciclo de Vida)

Rui Assis, Jorge Julião
rassis@rassis.com, juliao@fe.lisboa.ucp.pt

Faculdade de Engenharia da Universidade Católica Portuguesa

Resumo

O presente trabalho pretende contribuir para a disseminação e aplicação do método de gestão de custos do ciclo de vida (*Life Cycle Costs*, LCC) à gestão de activos. É argumentado que a função manutenção para poder responder de forma eficiente às novas exigências industriais terá de fazer uma gestão correcta dos seus activos, sendo para isso essencial a aplicação deste método. Faz-se uma breve revisão do estado da arte do método LCC aplicado à gestão de activos, apresentando os seus conceitos fundamentais, e demonstra-se a sua importância através de resultados obtidos no passado. Para ilustrar a aplicabilidade dos conceitos, descreve-se um caso de estudo adaptado da realidade em três fases: 1) Fase de avaliação de propostas para aquisição de um equipamento considerando alternativas de investimento e de aluguer; 2) Fase de Exploração e de Manutenção; 3) Fase de desactivação. Na fase 1) demonstra-se como usar dados de custos de manutenção observados no passado em equipamentos semelhantes e ajustá-los da inflação entretanto verificada. Demonstrar-se-á também como comparar as alternativas na perspectiva económica e financeira ao longo do ciclo de vida e far-se-á uma alusão breve à perspectiva multicritério. Na fase 2) demonstrar-se-á como seleccionar as políticas de manutenção mais adequadas a cada componente crítico do equipamento seleccionado segundo a metodologia RCM e como ajustar continuamente os parâmetros da manutenção à experiência progressivamente adquirida (periodicidades de substituição/reparação em manutenção preventiva e calendários de inspecção em manutenção preditiva). Na fase 3) demonstrar-se-á como analisar e decidir o exacto momento em que, na perspectiva exclusivamente económica, o equipamento seleccionado deve ser alienado e, eventualmente, substituído por outro semelhante.

I. Enquadramento Teórico

I.1 Introdução

O aumento da competitividade empresarial faz com que seja cada vez mais determinante o retorno dos investimentos, do qual depende a garantia da disponibilidade dos activos das empresas ao menor custo. Assistindo-se assim a uma aplicação crescente das técnicas de análise. O custo do ciclo de vida, CCV, (Life Cycle Cost, LCC) é uma técnica de análise que tem vindo a ser usada de forma generalizada como uma ferramenta de engenharia (ex. apoio a projecto e a aquisição), e começa a ser usada também como uma ferramenta de gestão (ex. análise de custos). É sobretudo uma ferramenta que ajuda os engenheiros a pensar como MBAs e a agir como engenheiros, *i.e.* permite interligar as decisões de engenharia com as de gestão. Auxilia o engenheiro a ter uma visão global sobre todos os custos associados aos activos produtivos, e a aplicar conhecimento sobre a performance e custos do passado para inferir sobre o futuro, e assim ter acesso a informação útil que apoie as suas decisões.

A maioria das empresas segue uma política de custos reactiva relativamente à selecção dos seus activos produtivos, *i.e.* selecciona os seus activos sobretudo com base no seu investimento inicial, e após a instalação procura otimizar os custos de exploração associados. No entanto, o impacto do investimento efectuado num activo é traduzido pelo CCV e não pelo valor do investimento inicial. Esta ferramenta procura influenciar a mudança para uma postura proactiva na medida em que permite prever, antes da selecção, os custos totais associados aos activos durante a sua vida útil, tornando assim a redução de custos mais eficiente. A redução de custos em geral, e de custos de manutenção em particular, são tanto mais abrangentes quanto mais cedo for equacionado o problema.

O CCV não é aplicado para seleccionar activos de menor investimento inicial, mas sim para identificar a solução que representa um menor custo global. Esta ferramenta contribui assim para a consciencialização de que o importante passa a ser, não saber o preço de nada e conhecer o valor de tudo.

I.2 Conceito

O custo do ciclo de vida de um activo é a soma de todos os capitais despendidos no suporte desse activo desde a sua concepção e fabricação, passando pela operação até ao fim da sua vida útil (White e Ostwald, 1976). É entendido que o tempo de vida útil decorre até à desactivação do equipamento, e que este pode ser diferente do tempo de vida efectivo do item, como é o caso dos equipamentos com tempo de vida tecnológico (ex. software e hardware). Importa referir que esta ferramenta tanto pode ser utilizada por fabricantes como por clientes. Estes últimos, geralmente, classificam os CCV em duas categorias: i) custos de propriedade, e ii) custos de operação. Dependendo do tipo de negócio, de análise e de activo, cada uma destas categorias pode conter diferentes tipos de custos. Estes custos podem variar desde os custos financeiros e de oportunidade até aos custos ambientais (ex. pegada de carbono). A tabela seguinte mostra alguns exemplos do tipo de custos geralmente considerados nestas análises.

<i>Tipo de Custo</i>	<i>Exemplos</i>
Custo de aquisição	Investigação, projecto, teste, produção
Custos de distribuição	Transporte, logística, manuseamento
Custos de manutenção	Estratégias de manutenção, peças sobresselentes
Custos de operação	Instalações, energia, impostos, seguros
Custos financeiros	Empréstimos, custos de oportunidade
Custos de formação	Formação de operadores
Custos de stock	Peças e materiais armazenados
Custos de desactivação	Desmontagem

No presente trabalho, particular atenção é dada aos custos de exploração, por estes serem em muitos casos desconsiderados e por representarem uma das principais fatias dos custos totais do ciclo de vida dos activos (ex. custos da energia e de manutenção).

O CCV de um activo pode ser significativamente superior ao valor de investimento inicial (Woodward, 1997), e em muitos dos casos é definido logo na fase de projecto (Bescherer, 2005). No entanto, os custos de investimento são utilizados pela generalidade das empresas como o principal critério de selecção de compra, ou mesmo como o único critério (Lindholm e Suomala, 2004). Isto deve-se em grande parte ao desconhecimento da técnica do CCV, à falta de uma norma ou de linhas orientadoras que apoiem a implementação desta técnica, e sobretudo à falta de dados sobre o passado dos activos (Ardit e Messiha, 1999).

Importa salientar que esta técnica, apesar de poder ser aplicada a qualquer tipo de activo (Asiedu e GU, 1998), geralmente é aplicada apenas aos activos que representam para a empresa um investimento significativo, cujo tempo de vida útil seja considerado longo, e/ou que os custos associados de operação e de manutenção se estimem ser elevados. Ainda, o objectivo e a natureza da análise irá depender do tipo de activo. Por exemplo, activos que lidam com produtos químicos, geralmente obrigam a calcular os custos ambientais associados. O sector público, a indústria de construção e militar são os principais utilizadores do CCV. Comparativamente, a sua aplicação em sistemas de fabrico convencional, apesar de crescente, é relativamente inferior. O que poderá em parte dever-se ao facto desta técnica ter nascido na indústria militar.

O CCV não é a única técnica dedicada à análise do ciclo de vida dos activos. Técnicas como a *Total Cost Ownership* (TCO) e a *Life Cycle Assessment* (LCA) são também muito utilizadas. A TCO é sobretudo uma ferramenta que procura apurar o custo verdadeiro da compra de um determinado activo, que não considera os custos de operação. Sendo portanto mais usada para seleccionar e avaliar fornecedores. Por outro lado, a LCA é uma ferramenta que incide principalmente sobre as questões ambientais, e não se debruça sobre os demais custos. Assim, pela sua abrangência, o CCV é provavelmente a ferramenta mais relevante para gestão de custos de activos nas empresas.

I.3 Missão e Objectivos

A missão principal do CCV na gestão de activos é a de apoiar as decisões na análise de alternativas através do cálculo previsional do custo total dos activos durante o seu período de vida útil. Este cálculo aumenta a visibilidade dos custos totais dos activos, e potencia a escolha da melhor solução. Subjacente está o procurar minimizar os elevados custos do ciclo de vida dos activos sem comprometer a disponibilidade e a qualidade exigida pelos clientes.

Os objectivos da análise do CCV variam consoante o tipo de decisões a tomar, mas podem ser classificados nas seguintes categorias: estudos de viabilidade; estudos de selecção de fornecedores; decisões de projecto; análise de nível de reparação; custos de reparação e de garantia; estratégias de venda dos fornecedores (Barringer e Weber, 1996). Segundo um estudo realizado por Korpi e Ala-Risku (2008), os estudos de selecção de fornecedores para diferentes produtos e as decisões de projecto são os objectivos mais comuns entre as empresas analisadas no seu estudo. Este estudo conclui ainda que os objectivos mais comuns no sector da construção são os estudos de viabilidade, no sector energético são os estudos de selecção de fornecedores, e no sector privado são os estudos de apoio ao projecto.

I.4 Métodos

A análise do custo do ciclo de vida é uma previsão do futuro, como tal geralmente são usados diferentes métodos de estimativa de custo. Durairaj *et al.* (2002) apresentam e comparam os diversos métodos de análise de custo de ciclo de vida. A utilização dos métodos de estimativa de custos depende, por exemplo, da disponibilidade de dados e da fase na qual os cálculos são efectuados. Fabrycky e Blanchard (1991) introduziram três diferentes formas de estimar os custos: i) estimativa por procedimentos de engenharia, ii) estimativa por analogia, e iii) métodos de estimativa paramétrica.

A estimativa por procedimentos de engenharia necessita de dados detalhados e precisos. Nos casos em que estes requisitos são satisfeitos, este método é recomendável pois proporciona estimativas muito precisas. De notar que se trata de um método algo moroso devido aos cálculos que exige. A estimativa por analogia requer um elevado nível de julgamento, daí ter de ser efectuado por pessoas experientes. É um método rápido, barato, e necessita de poucos dados, pelo que é ideal para os novos produtos. Os métodos de estimativa paramétrica recorrem a diferentes técnicas de estatística. Necessitam de uma quantidade de dados considerável, mas menos que os procedimentos de engenharia. De acordo com Fabrycky e Blanchard (1991) este método deve de ser o preferido na maioria das situações.

Outros métodos mais avançados podem também ser usados na análise de estimativa de custos de ciclo de vida. Emblemavag (2001) sugere a utilização do *Activity-Based Costing* (ABC). No entanto, este método não é fácil de utilizar em conjugação com investimentos únicos. Este autor sugere também a utilização da simulação Monte Carlo para lidar com a incerteza.

Para apoiar a análise de custo de ciclo de vida existem pelo menos duas normas comerciais. Uma destinada à indústria da construção (ASTM International, 2002) e outra de aplicação mais geral (International Electrotechnical Commission, 2004). A recente publicada norma sobre gestão de activos (BS PAS 55, 2008) é provavelmente a melhor fonte de linhas orientadoras para quem procura otimizar a gestão dos seus activos. Uma das suas principais vantagens é poder ser aplicada a qualquer sector industrial ou empresarial, e a todo o tipo de activo. O primeiro objectivo desta publicação é providenciar uma linguagem comum entre técnicos/engenheiros e os gestores financeiros e administradores. Esta norma clarifica como integrar as directrizes administrativas vindas do topo da empresa com as pressões vindas da operação. Apresenta ainda uma definição clara das boas práticas de gestão de activos e do que necessita de ser feito para minimizar o custo do ciclo de vida dos activos. Isto é apresentado sob a forma de uma *checklist* de 28 pontos de boas práticas de planeamento do ciclo de vida e de optimização risco/custo. Esta norma constitui a base para uma organização que procure executar: auto-avaliação; *benchmarking*; planeamento de melhoramentos; auditoria independente; certificação; selecção de *outsourcing*; demonstração de competência; alinhamento estratégico, etc.

II. Exemplos de Gestão de Activos Físicos

As empresas são compelidas crescentemente para racionalizarem os seus custos; e os custos de manutenção não poderiam constituir uma excepção. Os responsáveis da Manutenção vêm-se assim compelidos a tornarem-se também eficientes onde anteriormente só se preocupavam em ser eficazes; o volume e qualidade dos recursos de que dispõem para cumprir os seus objectivos passaram pois a ser cruciais. Por outro lado, sempre que se torna necessário redimensionar os recursos ou justificar a realização de projectos de melhoria da produtividade, os responsáveis da Manutenção precisam de traduzir as vantagens técnicas e operacionais em que acreditam em vantagens económicas (leia-se, em euros), ou seja, a linguagem natural dos Gestores. Para serem entendidos por estes, os responsáveis da Manutenção precisam de conhecer os conceitos básicos de análise económica e financeira de projectos e algumas operações básicas de cálculo financeiro. Só assim, o responsável da Manutenção poderá vir a assumir de forma competente as responsabilidades de um Gestor de Activos Físicos.

Os exemplos de casos fictícios que se descrevem a seguir (adaptados do livro “Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos”, Rui Assis, LIDEL 2010) procuram ilustrar as ocasiões – ao longo do ciclo de vida de um equipamento – em que o domínio dos conceitos e de algumas ferramentas de cálculo financeiro se tornam imprescindíveis.

II.1 Eficácia e eficiência

A eficácia de qualquer sistema (aqui entendido com tratando-se de qualquer equipamento de produção) passa pelo cumprimento de quatro requisitos básicos, todos da responsabilidade do Gestor de Activos Físicos da empresa:

1. Desempenho técnico, entendido como a aptidão para o desempenho das funções pretendidas (precisão, qualidade, capacidade...);
2. Confiabilidade, entendido como a aptidão para continuar em serviço (disponibilidade e durabilidade);
3. Ergonomia, entendido como a aptidão para a sua utilização em condições seguras e de conforto para o operador;
4. Produtividade, entendido como a aptidão para o valor máximo e custo mínimo.

Estes requisitos devem ser assegurados na fase de selecção e aquisição do sistema, pois dificilmente será possível proceder a correcções *a posteriori*. Segue-se a fase de exploração, durante a qual os custos de Operação e Manutenção (O&M) são grandemente influenciados pelas políticas de manutenção adoptadas. Vem depois a fase de desactivação, a qual é função de o sistema ser “dedicado a um produto” ou “universal”, da eventual obsolescência tecnológica e/ou do seu estado de degradação. Estas três fases devem obedecer a princípios de racionalidade económica, pelo que as análises das alternativas de decisão devem compreender métodos quantitativos que tenham em conta o valor temporal do dinheiro.

O objectivo de eficiência obriga a um esforço permanente de boa gestão, mensurável através de indicadores apropriados que medem o grau de prossecução dos objectivos ponderando continuamente o volume (importância) dos meios alocados.

II.2 Custo do Ciclo de Vida

A aquisição de um novo equipamento ou a transformação de um existente vai originar custos e proveitos específicos durante muitos anos. Constitui, todavia, prática generalizada e incorrecta esquecer aqueles factores e decidir apenas com base no preço de aquisição (custo do investimento à cabeça) mais baixo. Sendo os recursos sempre escassos, é óbvio que devemos optar pela alternativa mais económica. Mas ser mais económico significa apresentar “o menor custo ao longo do ciclo de vida” e não “o menor investimento” – como diz o ditado: “O que é barato sai (muitas vezes) caro”! Uma decisão de investimento deve, pois, ser bem ponderada e todos os factores que poderão influenciar os resultados da exploração económica durante a vida útil estimada deverão ser equacionados.

O custo do ciclo de vida (*Life Cycle Cost* – LCC) de um equipamento é composto por dois custos: o custo de propriedade e o custo de operação.

O custo de propriedade é igual, por sua vez, à soma dos seguintes custos originados, respectivamente, no início, decurso e fim do ciclo:

- Custo de aquisição e instalação;
- Custo de manutenção;
- Custo de desactivação e eliminação.

O custo de operação compreende unicamente os chamados “custos variáveis” dos recursos usados na produção de bens ou serviços, tais como, energia, consumíveis e mão-de-obra. Os custos de oportunidade podem ser também aqui incluídos ou considerados numa terceira categoria. A Figura II.1 mostra esquematicamente a evolução destes custos ao longo do ciclo de vida do equipamento (em n o equipamento é desactivado). Nela se pretende evidenciar que o custo do investimento é frequentemente o menor componente e que o custo de O&M (rectângulos cinza escuro e cinza claro) é o maior.

Os custos anuais de O&M apresentam um comportamento típico, caracterizado por uma evolução temporal em forma de S ; crescimento de gradiente positivo, embora moderado, nos primeiros anos, até um momento de inflexão ao qual se segue um crescimento de gradiente negativo com tendência para entrar em patamar (passagem do regime transitório para o regime estacionário). Estes custos dependem grandemente das políticas de manutenção adoptadas, as quais dependem por sua vez de vários factores (naturezas dos modos de falha, criticidade, objectivos de gestão).

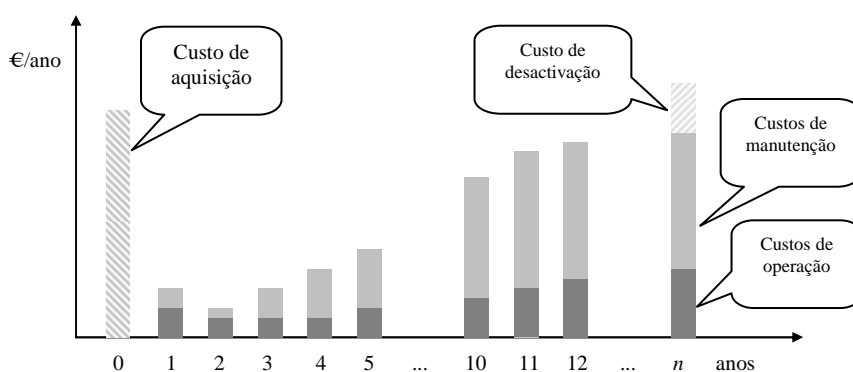


Figura II.1 – Custos do Ciclo de Vida de um equipamento

O custo de desactivação de um equipamento pode, por vezes, ser menor do que o valor da receita realizada com a sua eventual venda no mercado de usados, pelo que a diferença contribuirá para o decréscimo do custo do último ano de vida.

II.3 Fase de aquisição: Selecção de um equipamento entre várias alternativas

Consideremos o seguinte caso: Uma empresa de construção civil possui três propostas para o fornecimento de uma máquina de perfuração de solos e prepara-se para seleccionar uma delas. Para tal, precisa de avaliar qual das alternativas é a mais económica, depois de estimar todos os custos pertinentes que se poderão gerar ao longo dos respectivos ciclos de vida. Uma das propostas é de aquisição e as outras duas são de aluguer com manutenção incluída e opção de compra. Para investimentos desta natureza, a empresa considera uma taxa mínima de rentabilidade real igual a 15%.

Depois de alguma ponderação, a empresa decidiu realizar as estimativas de custos a preços constantes. As estimativas de vida útil bem como dos custos pertinentes encontram-se descritas nos próximos quadros.

No caso da alternativa “Aquisição do modelo PC-240”, a vida útil estimada é de 6 anos. O montante do investimento necessário é 500 K€, pelo que a empresa decide recorrer a um empréstimo bancário de 300 K€ reembolsável nas condições mostradas no Quadro I.1, as quais originarão os encargos financeiros mostrados no Quadro II.2.

Quadro II.1 – Condições do empréstimo bancário

Montante do empréstimo:	300 K€
Período de reembolso:	3 anos
Período de carência:	1 anos
Taxa de juro contratada:	7%

Quadro II.2 – Operação de reembolso do empréstimo bancário

Anos	1	2	3	4	5	6
Capital em dívida no início do ano	300	300	200	100	0	0
Reembolso de capital	0	100	100	100	0	0
Reembolso acumulado de capital	0	100	200	300	0	0
Juros devidos	21	21	14	7	0	0

A empresa decidiu também, como política de amortização, adoptar o método de depreciação desacelerada, pois trata-se de um equipamento dispondo de uma tecnologia ainda desconhecida internamente, o que originará taxas baixas de utilização nos primeiros tempos, crescendo depois progressivamente com a experiência. Esta prática vai permitir que custos que crescem progressivamente ao longo do ciclo de vida do equipamento sejam divididos por tempos de utilização que também crescem, mantendo o custo horário aproximadamente constante ao longo do tempo. As amortizações serão então as seguintes:

Quadro II.3 – Condições de amortização

Valor do investimento	500 K€
Período de amortização	5 anos
Valor residual	0 K€
Taxa anual de actualização	30%

Quadro II.4 – Depreciação fiscal

Anos	1	2	3	4	5	6
Valor contabilístico	500	445	373	279	158	0
Depreciação	55	72	93	121	158	0

No ano 1, por ex., o valor da amortização foi determinado do seguinte modo: $500 \times (A/F;30\%;5) \times (1 + 0,3)^{(1-1)} = 500 \times 0,1106 \times 1 \cong 55 \text{ K€}$. E no ano 5, por ex., o valor da amortização foi determinado do seguinte modo: $500 \times (A/F;30\%;5) \times (1 + 0,3)^{(5-1)} = 500 \times 0,1106 \times 1,3^{(4)} \cong 158 \text{ K€}$

O *cash-flow* desta alternativa encontra-se descrito no Quadro II.5.

Quadro II.5 – Inputs para cálculo do cash-flow da Alternativa 1 – “PC-240”(K€)

Anos	0	1	2	3	4	5	6
Investimentos	500						
Valor residual							53
Custos de operação		4	4	5	5	7	9
Custos de manutenção		20	20	23	29	35	48
Custos de oportunidade				3	6	9	12
Amortizações		55	72	93	121	158	
Encargos financeiros		21	21	14	7		

As outras duas alternativas são de aluguer com manutenção incluída e opção de compra – ao fim de 3 anos no caso do modelo 322-C e 4 anos no caso do modelo EC-240. As vidas úteis estimadas são 6 anos para o modelo 322-C e 7 anos para o modelo EC-240. Estimámos também os custos crescentes de operação, de oportunidade e de manutenção (estes só após aquisição) para estas duas alternativas. As amortizações serão uniformes durante os 3 anos após a aquisição e os investimentos serão financiados na totalidade com capitais próprios.

Os próximos Quadros II.6 e II.7 mostram os *cash-flow* previstos destas duas alternativas.

Como as três alternativas em confronto possuem vidas diferentes, o indicador económico apropriado para as distinguir entre si é o custo uniforme equivalente ou anuidade. Por outro lado, tendo em conta o facto de as alternativas envolverem amortizações e financiamentos, temos de determinar o impacto fiscal no *cash-flow* de cada uma das três alternativas.

Quadro II.6 – Inputs para cálculo do cash-flow da Alternativa 2 – “322-C”(K€)

Anos	0	1	2	3	4	5	6
Investimentos				270			
Valor residual							32
Custos de aluguer		105	105	105			
Custos de operação		6	6	9	10	14	18
Custos de manutenção					27	34	42
Custos de oportunidade				6	9	14	19
Amortizações					90	90	90

Quadro II.7 – Inputs para cálculo do cash-flow da Alternativa 3 – “EC-240”(K€)

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7
Investimentos					330			
Valor residual								52
Custos de aluguer		130	130	130	130			
Custos de operação		4	4	5	5	7	9	12
Custos de manutenção						25	32	40
Custos de oportunidade					3	6	9	12
Amortizações						110	110	110

O *cash-flow* líquido actualizado e acumulado em cada ano da alternativa 1 (modelo PC-240) é calculado da forma ilustrada no Quadro II.8.

Quadro II.8 – Cash-flow da Alternativa 1 – “PC-240” (em K€)

Anos	0	1	2	3	4	5	6
+ Custos de aluguer	0	0	0	0	0	0	0
+ Custos de operação	0	4	4	5	5	7	9
+ Custos de manutenção	0	20	20	23	29	35	48
+ Custos de oportunidade	0	0	0	3	6	9	12
+ Amortizações	0	55	72	93	121	158	0
+ Encargos financeiros	0	21	21	14	7	0	0
= Resultado bruto de exploração	0	100	117	138	168	209	69
- Imposto (IRC)	0	40	47	55	67	84	28
= Resultado líquido de exploração	0	60	70	83	101	125	41
- Amortizações	0	55	72	93	121	158	0
- Encargos financeiros	0	21	21	14	7	0	0
= Cash-flow de exploração	0	-16	-23	-24	-27	-33	41
+ Cash-flow de investimento	500	0	0	0	0	0	-53
= Cash-flow líquido	500	-16	-23	-24	-27	-33	-12
x Factor de actualização	1	1	1	1	1	0	0
= Cash-flow líquido actualizado	500	-14	-17	-16	-16	-16	-5
Cash-flow líquido actualizado e acumulado	500	486	469	453*	437	421	416

* $-24/(1+0,15)^3 = -15,78 \cong 16$ K€; ** $500+(-16/(1+0,15)) + (-23)/(1+0,15)^2 + (-24)/(1+0,15)^3 \cong 500+(-14)+(-17)+(-16) = 453$ K€

O valor presente (ou actual) equivalente é 416 K€ e o valor da anuidade é: $A_7 = 416 \times (A/P; 15\%; 6) = 110$ K€/ano.

Procedendo de igual modo com as outras duas alternativas, obtemos os Quadros II.9 e II.10.

Quadro II.9 – Cash-flow da Alternativa 2 – “322-C” (em K€)

Anos	0	1	2	3	4	5	6
+ Custos de aluguer	0	105	105	105	0	0	0
+ Custos de operação	0	6	6	9	10	14	18
+ Custos de manutenção	0	0	0	0	27	34	42
+ Custos de oportunidade	0	0	0	6	9	14	19
+ Amortizações	0	0	0	0	90	90	90
+ Encargos financeiros	0	0	0	0	0	0	0
= Resultado bruto de exploração	0	111	111	120	136	152	169
- Imposto (IRC)	0	44	44	48	54	61	68
= Resultado líquido de exploração	0	67	67	72	82	91	101
- Amortizações	0	0	0	0	90	90	90
- Encargos financeiros	0	0	0	0	0	0	0
= Cash-flow de exploração	0	67	67	72	-8	1	11
+ Cash-flow de investimento	0	0	0	270	0	0	-32
= Cash-flow líquido	0	67	67	342	-8	1	-21
x Factor de actualização	1	1	1	1	1	0	0
= Cash-flow líquido actualizado	0	58	50	225	-5	1	-9
Cash-flow líquido actualizado e acumulado	0	58	108	333	328	329	320

Quadro II.10 – Cash-flow da Alternativa 3 – “EC-240” (em K€)

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7
+ Custos de aluguer	0	130	130	130	130	0	0	0
+ Custos de operação	0	4	4	5	5	7	9	12
+ Custos de manutenção	0	0	0	0	0	25	32	40
+ Custos de oportunidade	0	0	0	0	3	6	9	12
+ Amortizações	0	0	0	0	0	110	110	110
+ Encargos financeiros	0	0	0	0	0	0	0	0
= Resultado bruto de exploração	0	134	134	135	138	148	160	174
- Imposto (IRC)	0	54	54	54	55	59	64	70
= Resultado líquido de exploração	0	80	80	81	83	89	96	104
- Amortizações	0	0	0	0	0	110	110	110
- Encargos financeiros	0	0	0	0	0	0	0	0
= Cash-flow de exploração	0	80	80	81	83	-21	-14	-6
+ Cash-flow de investimento	0	0	0	0	330	0	0	-52
= Cash-flow líquido	0	80	80	81	413	-21	-14	-58
x Factor de actualização	1	1	1	1	1	0	0	0
= Cash-flow líquido actualizado	0	70	61	53	236	-11	-6	-22
Cash-flow líquido actualizado e acumulado	0	70	131	184	420	409	403	382

Destes *cash-flows* resultam os seguintes valores das anuidades:

$$P_2 = 320 \text{ K€ de onde } A_2 = 320 \times (A/P; 15\%; 6) = 85 \text{ K€/ano}$$

$$P_3 = 382 \text{ K€ de onde } A_3 = 382 \times (A/P; 15\%; 7) = 92 \text{ K€/ano}$$

Resultado este que nos conduz à conclusão de que a Alternativa 2 é mais económica $|(85 - 110)/110 \times 100 \cong 23\%$ do que a Alternativa 1 e $|(85 - 92)/92 \times 100 \cong 8\%$ do que a Alternativa 3.

Poderíamos ainda concluir depois de termos realizado uma análise de sensibilidade que:

- O valor do investimento no equipamento PC 240 que torna esta alternativa e a alternativa de aluguer do equipamento 322 C indiferentes é 405 K€ em lugar de 500 K€;
- O valor do investimento no equipamento PC 240 que torna esta alternativa e a alternativa de aluguer do equipamento EC 240 indiferentes é 434 K€ em lugar de 500 K€;
- O valor da TMR que faz com que a alternativa de investimento no equipamento PC 240 e a alternativa de aluguer do equipamento EC 240 sejam indiferentes é 8,79% em lugar de 15%;
- O valor da opção de compra da alternativa de aluguer do equipamento EC 240 que faz com que esta alternativa e a alternativa de aluguer do equipamento 322 C sejam indiferentes é 280 K€ em lugar de 330 K€.

Respostas que poderiam já encontrar-se preparadas em antecipação a eventuais perguntas da Administração ou de Entidades financiadoras.

II.4 Fase de aquisição (ainda): Previsão de custos

Em todos os estudos de aquisição de um equipamento, existe a necessidade de estimarmos os custos de O&M ao longo da sua vida útil esperada. Estas estimativas só podem realizar-se de uma de três formas:

- Por informação dos fabricantes das horas de intervenção e das quantidades por referência das peças necessárias;
- Por extrapolação de custos passados do equipamento em causa;
- Por analogia com equipamentos semelhantes (próprios ou de parceiros de indústria).

No primeiro caso, bastará multiplicar aquelas horas e quantidades de peças previstas para cada ano de utilização pelos correspondentes preços unitários naquela data. Contudo, no segundo e terceiro casos, ter-se-á de efectuar um exercício prévio de ajustamento dos custos de cada ano de acordo com o(s) factor(es) de custo que mais terão influenciado a sua evolução temporal. Felizmente, na grande maioria das vezes, esse factor é apenas a inflação verificada. De outro modo, ter-se-ia de conhecer a evolução temporal do(s) factor(es) dominantes, e ajustar os custos de cada ano do efeito ponderado daquele(s) factor(es).

Consideremos o seguinte caso: Estamos no ano 0. Um equipamento existente há 10 anos apresenta no seu cadastro os custos de manutenção (materiais + mão-de-obra) descritos no Quadro II.11. É necessário realizar um estudo de viabilidade económica envolvendo este equipamento. Sabendo que os factores predominantes de custo (materiais e mão-de-obra) terão evoluído temporalmente com a inflação e conhecendo-se os valores assumidos por esta em cada ano através das estatísticas publicadas, estimar os valores daquela natureza de custo para os próximos 3 anos.

Quadro II.11 – Custos e taxas de inflação históricos

Anos (fim de ano)	Custos de manutenção (€/ano)	Taxas de inflação (% ano)
-10	5.000	-
-9	6.000	4,20%
-8	7.900	5,50%
-7	9.100	6,10%
-6	11.700	4,60%
-5	13.300	3,20%
-4	14.000	3,70%
-3	17.200	6,30%
-2	18.900	7,50%
-1	20.300	6,80%

Convencionemos os custos descritos como concentrados no fim de cada ano, embora, na verdade, se desenvolvam ao longo de cada ano. Assim, por ex., o custo de 20.300 € é igual à soma dos custos decorridos até hoje desde há exactamente um ano e o custo de 5.000 € verificou-se durante o ano 10, mas é suposto encontrar-se concentrado no fim desse ano (há exactamente 9 anos). Por sua vez, a taxa de inflação, por ex., de 4,2% verificou-se entre o final do ano 10 e o final do ano 9, ou seja no decorrer do ano 9. O gráfico da Figura II.2 mostra esta convenção.

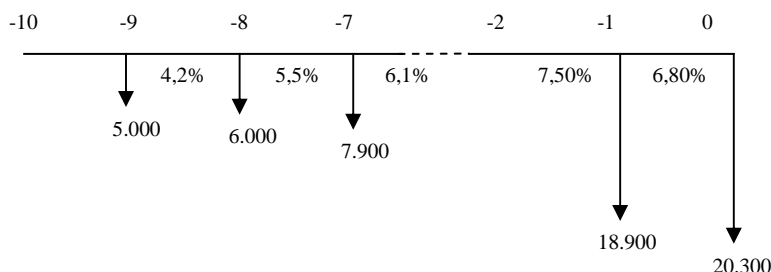


Figura II.2 – Custos e taxas de inflação históricos

Cada um daqueles custos tem de ser actualizado, o que, em termos de cálculo financeiro, corresponde afinal a um exercício de capitalização – capitalizar cada um dos custos passados por tantos períodos quanto os passados e às várias taxas de inflação verificadas entretanto. Assim, por ex., a taxa de actualização

(do passado para hoje) ou, se preferirmos, de capitalização (de um momento mais cedo para outro mais tarde), do final do ano (-10), é a seguinte: $(1 + 0,042) \times (1 + 0,055) \times \dots \times (1 + 0,068) = 1,593$.

Logo, o custo de 5.000 € verificado há 9 anos atrás (fim do ano 10) corrigido (ou ajustado) da inflação é $5.000 \times 1,593 = 7.967$ €

Procedendo de igual modo para os restantes anos, obtemos:

Ano (-9): $6.000 \times [(1 + 0,055) \times (1 + 0,061) \times \dots \times (1 + 0,068)] = 9.175$ €

Ano (-8): $7.900 \times (1 + 0,061) \times (1 + 0,046) \times \dots \times (1 + 0,068) = 11.451$ €

...

Ano (-1): $18.900 \times (1 + 0,068) = 20.185$ €

Agora que já possuímos os custos passados ajustados (actualizados ou a preços de hoje), podemos passar à previsão dos seus valores para os próximos 3 anos. Para o fazer, temos de encontrar a função matemática que melhor adira (ou se ajuste) àqueles pontos e extrapolar esta função para os próximos 3 anos.

Quadro II.12 – Custos ajustados da inflação

Anos (1)	Anos (2)	Custos de manutenção (€/ano) (3)	Custos ajustados de manutenção (€/ano) (4)
-10	1	5.000	7.967
-9	2	6.000	9.175
-8	3	7.900	11.451
-7	4	9.100	12.432
-6	5	11.700	15.281
-5	6	13.300	16.832
-4	7	14.000	17.086
-3	8	17.200	19.747
-2	9	18.900	20.185
-1	10	20.300	20.300
+1	11	-	?
+2	12	-	?
+3	13	-	?

Recorrendo ao EXCEL, construímos um gráfico “scatter” cujas abcissas são a coluna (2) do Quadro II.12 e as ordenadas a coluna (4). Sobre estes pontos seleccionamos a opção “Add Trendline”. Surgem-nos algumas funções opcionais. No caso de custos de manutenção (mão-de-obra + materiais), é de esperar que estes cresçam com os anos (regime transitório) mas com tendência para estabilizar ou entrar em patamar (regime estacionário) após alguns anos. A função Logística seria aquela que melhor se adequaria. Porém, como esta não existe residente no EXCEL, optámos pela logarítmica da forma geral $y = k_1 \cdot \ln(x) + k_2$ como a segunda mais apropriada (esta já residente no EXCEL), a qual cresce ao longo dos anos mas com um gradiente progressivamente menor.

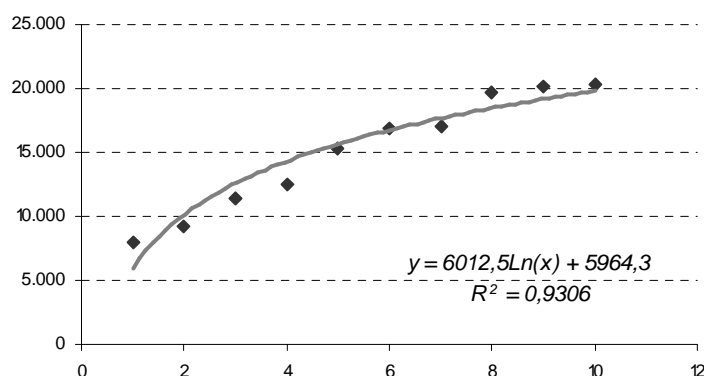


Figura II.3 – Evolução histórica dos custos anuais corrigidos da inflação

Em “Options”, seleccionamos “Display equation on chart” e “Display R-squared value on chart”. Obtemos a seguinte função para um coeficiente de determinação estatístico $R^2 = 0,9306$ (aceitável): $y =$

$6012,5 \cdot \ln(x) + 5964,3$. Podemos agora e, finalmente, calcular os custos previstos nos próximos anos 11, 12 e 13 (aproximados às centenas tal como os dados). O coeficiente R^2 pode apresentar um valor baixo devido, muitas vezes, à exiguidade de dados e não porque a função de correlação seja inapropriada.

$$\text{Ano 11: } 6012,5 \cdot \ln(11) + 5964,3 = 20.300 \text{ €}$$

$$\text{Ano 12: } 6012,5 \cdot \ln(12) + 5964,3 = 20.800 \text{ €}$$

$$\text{Ano 13: } 6012,5 \cdot \ln(13) + 5964,3 = 21.300 \text{ €}$$

Podemos agora completar o Quadro II.12 ou obter o Quadro II.13.

Quadro II.13 – Custos anuais previstos

Anos	Anos	Custos previstos de manutenção (€/ano)
+1	11	20.400
+2	12	20.900
+3	13	21.400

Se durante aquele período de 10 anos tivesse ocorrido um qualquer investimento intercalar como, por ex., uma grande reparação, o valor desse investimento não deveria integrar os custos de manutenção analisados atrás. Com efeito, é comum considerar erradamente nos custos de manutenção as amortizações, quer do investimento inicial com a aquisição e instalação do equipamento quer dos eventuais investimentos intercalares. Em análise económica, estes investimentos devem ser estimados separadamente dos custos de O&M. Estes custos designam-se custos do(s) investimento(s) e possuem uma lógica semelhante à das amortizações fiscais mas são calculados diferentemente.

Ainda outra questão. Por vezes empregamos uma taxa de inflação (ou de ajustamento) calculada pela média geométrica das taxas verificadas em cada ano. Este método conduz a um resultado próximo do anterior. Constitui, todavia, uma aproximação, pelo que preferimos o método descrito.

II.5 Fase de exploração: Manutenção preventiva *versus* manutenção curativa

Na gestão de activos, os custos anuais de manutenção constituem frequentemente uma grande fatia dos custos totais de gestão e podem somar quatro a cinco vezes o custo de aquisição no fim da sua vida útil. Daqui, dedicar-se cada vez maior atenção ao controlo desta natureza de custos. Estes custos são muitas vezes incompreendidos. Com efeito, uma boa manutenção não consiste em executar religiosamente as rotinas de manutenção preventiva recomendadas pelo fabricante, mas sim em implementar uma rotina baseada nas condições reais de utilização (carga e ambiente), da qual resulte um custo das intervenções (materiais, mão-de-obra e oportunidade) mínimo. É natural que o fabricante – desconhecedor das condições reais em que o equipamento vai funcionar –, se salvasse e recomende uma frequência exagerada de intervenções preventivas. Compete ao utilizador do equipamento determinar a frequência mais económica com base na sua própria experiência. Com efeito, na manutenção de um qualquer equipamento, existe uma proporção ideal, na perspectiva económica, entre o número de intervenções preventivas NP e o número total de intervenções (soma das intervenções preventivas NP e curativas NC) realizados durante um certo período (1 ano, por exemplo).

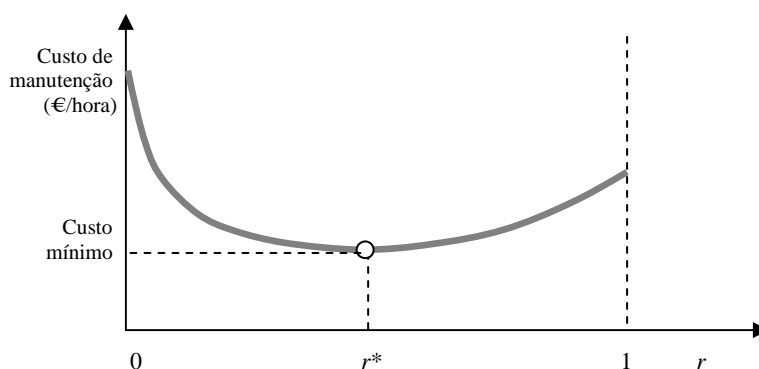


Figura II.4 – Variação do custo de manutenção por hora de funcionamento de um equipamento com a proporção de manutenção preventiva r (a proporção ideal é r^*)

A Figura II.4 mostra, de modo aproximado, a evolução do custo de manutenção por hora (ciclo, Km, manobra, etc.) de funcionamento de um equipamento com o rácio $r = NP/(NP + NC)$. O valor ideal deste rácio r^* corresponde ao custo mínimo de manutenção.

Quando o equipamento está sujeito a uma política de manutenção estritamente curativa (repara quando falha), resulta que $NP = 0$ e $r = 0$. Em consequência, os custos de manutenção podem ser muito elevados. Quando o equipamento está sujeito a uma política de manutenção preventiva de acordo com as recomendações do fabricante, resulta que $NC \cong 0$ e $r \rightarrow 1$. Em consequência, os custos de manutenção podem ser igualmente muito elevados. Na perspectiva do utilizador, interessa conhecer a frequência com que se verificam as falhas do componente (função das condições de carga e ambiente a que efectivamente este se encontra sujeito), de modo a determinar a proporção ideal r^* . Esta proporção depende dos custos efectivos da frequência e das consequências com que as falhas são observadas. Para tal, é necessário manter permanentemente actualizado o cadastro com o registo dos momentos em que se verificaram todas as falhas e os correspondentes tempos e custos de reparação. Enquanto o equipamento ainda é novo e a experiência é reduzida, devemos seguir as recomendações do fabricante. Com o passar do tempo, devemos ir corrigindo o programa de manutenção com base nos dados entretanto recolhidos, em analogias com equipamentos semelhantes e/ou na informação colhida em bases de dados públicas.

II.6 Fase de exploração (ainda): Previsão de custos de manutenção

No caso de equipamentos de produção, não existe uma receita universal para a política de manutenção. Assim, em cada caso, há que determinar qual a mais adequada, o que pode ser feito seguindo os passos do método de análise RCM. Este método, porém, não dá orientações para que possamos responder às duas questões “*Is a scheduled.....task technically feasible and worth doing?*”. No 9º Congresso de Manutenção de há dois anos, o autor deste artigo apresentou uma comunicação intitulada “Comparação de Políticas Alternativas de Manutenção na Perspectiva dos Custos e da Disponibilidade”, na qual mostrou como responder a esta segunda questão. Nesse trabalho calcularam-se os custos e outros indicadores de desempenho de um compressor de ar quando sujeito a todas as políticas de manutenção descritas na Figura II.5.

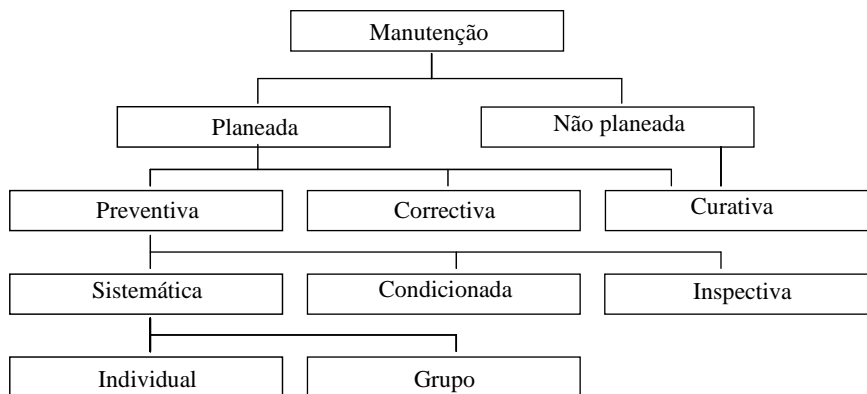


Figura II.5 – Políticas de manutenção de um equipamento

O leitor é convidado a reler aquele trabalho. Apresentamos aqui apenas as conclusões.

O Quadro II.14 resume os resultados obtidos dos modelos ensaiados.

Quadro II.14 – Resultados dos modelos de manutenção do compressor

Modelos	Custo (€/hora)	Disponibilidade
Curativa	22,85	96,71%
Preventiva sistemática (custo mínimo)	12,59	97,00%
Preventiva sistemática (disponibilidade máx.)	14,80	97,41%
Preditiva	5,45 / 2,51*	98,70% / 99,06%*
Preventiva sistemática em bloco	8,08	98,87%

* sem falsos positivos ou negativos

Embora os modelos “Preditiva” e “Preventiva sistemática em bloco” contenham dados adicionais; o que torna um pouco inadequada a comparação, e sem pretensões de generalização, podemos constatar a maior economia e a maior disponibilidade do modelo de manutenção preditiva – mesmo com falsos positivos e falsos negativos.

Interessante também notar que o modelo de manutenção com base na vida do compressor (substituição em bloco) proporciona menor custo e maior disponibilidade do que o modelo de manutenção com base na vida acumulada de cada componente crítico. Outra vantagem daquele modelo é o de não necessitar de uma monitorização permanente da variável determinante da vida de cada componente específico.

Não obstante o facto de os custos com a i) aquisição e operação de equipamentos específicos de monitorização do estado de condição ou de ii) sensores e actuadores ou de iii) contratação de serviços ao exterior ou ainda de iv) manutenção e formação contínua de pessoal especializado próprio não terem sido considerados nos cálculos, é de crer que a política de manutenção preditiva tornar-se-á dominante nos próximos anos, pois os custos da tecnologia de medição e controlo vão continuar a diminuir e as competências e a polivalência dos operadores de máquina a aumentar.

Os cálculos realizados basearam-se no pressuposto do conhecimento dos modos de falha predominantes de todos os componentes críticos e do seu comportamento probabilístico, bem como de todas as consequências das paragens; quer para cumprimento de intervenções proactivas de manutenção preventiva quer para intervenções reactivas para desempanagens em resultado de falhas. Como a magnitude destas consequências poderá alterar-se ao longo do tempo, também as políticas deverão ser ajustadas em conformidade de modo a proporcionar sempre a máxima disponibilidade ou o menor custo.

II.7 Fase de desactivação: Quando substituir um equipamento existente?

Conforme dissemos anteriormente a vida útil de um equipamento depende de uma de três condições: a que, aplicando-se, for menor:

1. Vida do produto à produção do qual se destina (equipamentos dedicados);
2. Obsolescência tecnológica;
3. Estado de degradação.

Tratando-se da última condição, um equipamento não deve ser desactivado somente quando já muito dificilmente consegue cumprir a sua missão. Todo o equipamento tem uma vida “económica”, assim designada porque corresponde a um momento no tempo onde o somatório dos custos do ciclo de vida (investimento, O&M e desactivação ou proveito resultante da eventual venda no mercado de usados) se prevê será mínimo. Se soubermos prever todos estes custos, poderemos determinar quando um equipamento deve ser desactivado ou substituído por outro. Os cálculos realizados devem, porém, ser refeitos periodicamente, não só porque mais informação vai sendo coligida, permitindo a validação dos cálculos anteriores, mas porque alguns pressupostos podem ter-se entretanto alterado significativamente provocando uma alteração no sentido da antecipação ou do adiamento da substituição.

Consideremos o seguinte caso: Uma empresa possui uma frota de empilhadores para a qual estabeleceu, como política, substituir uma unidade logo que esta atinja a sua vida económica, até ao limite máximo de 6 anos. A empresa procede neste momento à análise anual dos custos de exploração com vista à tomada de decisões. Na frota figura um empilhador com 3 anos, em relação ao qual, neste momento, a questão se coloca. Qual o ano em que a empresa deve substituir o empilhador actual por outro candidato? Considerar a perspectiva “antes de impostos” ou “sem efeito fiscal”.

Em primeiro lugar, temos de reunir dados sobre os custos históricos de exploração do empilhador e estimar a evolução destes custos durante o período de 3 anos de vida restante (conforme o estabelecido).

Em segundo lugar, temos de conhecer o valor residual actual do empilhador e a respectiva evolução previsional. O valor residual (ou valor venal) é o valor que o mercado de usados está disposto a dar pelo empilhador com idades variáveis. Esta informação é obténivel junto de empresas que se dedicam a este tipo de comércio ou de empresas seguradoras. A mesma informação tem também de ser coligida para o novo empilhador (junto do fabricante e/ou a partir da experiência da própria empresa).

Para investimentos de substituição, a empresa tem estabelecida uma taxa mínima de rentabilidade real TMR igual a 15%.

Após alguns dias conseguimos reunir a informação descrita no Quadro II.15 (a preços constantes).

Quadro II.15 – Dados previsionais de exploração

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	
Actual	Investimento	-	-	-	-	-	-	
	Valor residual	14.500	12.000	10.000	9.500	-	-	
	Manutenção	-	1.750	3.000	4.700	-	-	
	Consumos	-	3.050	4.300	6.350	-	-	
	Seguro	-	500	500	500	-	-	
		5.300	7.800	11.550				
Candidato	Investimento	24.750	-	-	-	-	-	
	Valor residual	-	19.750	17.500	14.500	12.000	10.000	8.000
	Manutenção	-	550	900	1.300	1.750	3.200	3.700
	Consumos	-	2.000	2.100	2.350	2.850	4.200	5.600
	Seguro	-	1.250	1.000	750	750	500	500
		3.800	4.000	4.400	5.350	7.900	9.800	

Tendo como objectivo a exploração de qualquer equipamento em condições da maior economia presente e futura, temos de conhecer a evolução dos custos anualizados de ambos os empilhadores – os do empilhador actual (*defender*) e os do empilhador candidato à sua substituição (*challenger*) – e interpretá-los para tomar uma decisão.

A forma de abordar este caso consiste em seguir os seguintes passos:

1. Calcular o custo anual do empilhador candidato para cada alternativa de vida útil (entre 1 e 6 anos) e anotar o custo anual mínimo correspondente à vida económica do empilhador candidato;
2. Calcular o custo anual do empilhador actual para cada alternativa de vida restante (entre 1 e 3 anos), considerando o valor actual de mercado como um custo de oportunidade (por se adiar a decisão) e anotar o custo anual mínimo do empilhador actual;
3. Decidir de acordo com as seguintes condições:
 - 3.1. Se o custo anual mínimo do empilhador actual ocorrer após o primeiro ano e se for maior do que o do empilhador candidato, substituir imediatamente o empilhador actual pelo candidato;
 - 3.2. Se o custo anual mínimo do empilhador actual ocorrer após o primeiro ano e se for menor do que o do empilhador candidato, aguardar até que o custo anual do empilhador actual iguale o custo anual mínimo do empilhador candidato para substituir o empilhador actual;
 - 3.3. Se o custo anual mínimo do empilhador actual ocorrer no fim do ano 1, calcular os custos marginais do empilhador actual em cada ano e substituir este no ano anterior àquele em que se verifica que o custo marginal anual é superior ao custo anual mínimo do empilhador candidato.

Sigamos então esta sequência de passos.

Passo 1

Vida útil do empilhador novo = 6 anos:

Consideremos primeiramente o diagrama de *cash-flows* (em K€).

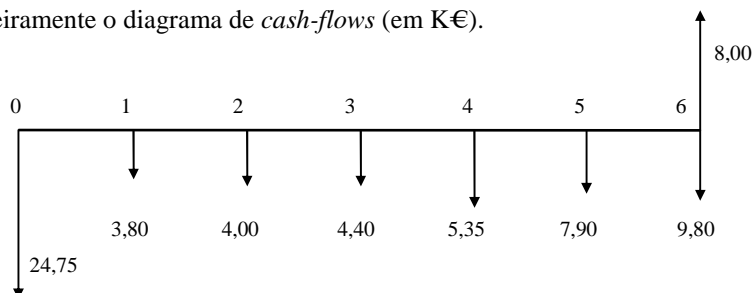


Figura II.6 – Diagrama do CF do novo empilhador no caso da vida útil = 6 anos

Calculemos agora o custo uniforme anual equivalente para cada alternativa de vida.

Vida útil do empilhador novo = 6 anos:

$$Cn_6 = [24,75 + 3,80 \times (P/F;15;1) + 4,00 \times (P/F;15;2) + 4,40 \times (P/F;15;3) + 5,35 \times (P/F;15;4) + 7,90 \times (P/F;15;5) + (9,80 - 8,00) \times (P/F;15;6)] \times (A/P;15;6) = 11,03 \text{ K€/ano}$$

Vida útil do empilhador novo = 5 anos:

$$Cn_5 = [24,75 + 3,80 \times (P/F;15;1) + 4,00 \times (P/F;15;2) + 4,40 \times (P/F;15;3) + 5,35 \times (P/F;15;4) + (7,90 + - 10,00) \times (P/F;15;5)] \times (A/P;15;5) = 10,74 \text{ K€/ano}$$

Vida útil do empilhador novo = 4 anos: $Cn_4 = 10,57 \text{ K€/ano}$

Vida útil do empilhador novo = 3 anos: $Cn_3 = 10,70 \text{ K€/ano}$

Vida útil do empilhador novo = 2 anos: $Cn_2 = 10,98 \text{ K€/ano}$

Vida útil do empilhador novo = 1 ano: $Cn_1 = 12,51 \text{ K€/ano}$

A vida económica do empilhador candidato é 4 anos, pois nesse ano verificar-se-á o custo uniforme mínimo, ou seja, 10,57 K€/ano.

Quadro II.16 – Custo do empilhador candidato

1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano	6º ano
12,51	10,98	10,70	10,57 (mín.)	10,74	11,03

Passo 2

Neste caso, adiar hoje a decisão significa incorrer num custo de oportunidade de 14,50 K€.

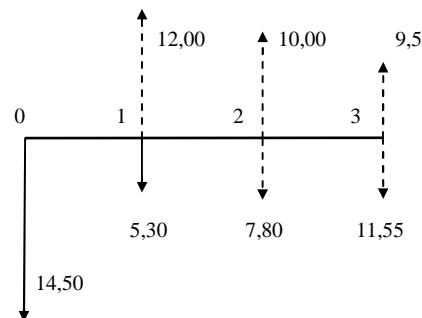


Figura II.7 – Diagrama de CF do empilhador actual (caso da vida útil restante por mais n anos; até 3

Teremos então como custos uniformes anuais equivalentes, para cada alternativa de vida, os seguintes:

Manter o empilhador actual por mais 1 ano:

$$Ca_1 = [14,50 + (5,30 - 12,00) \times (P/F;15;1)] \times (A/P;15;1) = 9,98 \text{ K€/ano}$$

Manter o empilhador actual por mais 2 anos:

$$Ca_2 = [14,50 + 5,30 \times (P/F;15;1) + (7,80 - 10,00) \times (P/F;15;2)] \times (A/P;15;2) = 10,73 \text{ K€/ano}$$

Manter o empilhador actual por mais 3 anos:

$$Ca_3 = [14,50 + 5,30 \times (P/F;15;1) + 7,80 \times (P/F;15;2) + (11,55 - 9,5) \times (P/F;15;3)] \times (A/P;15;3) = 11,54 \text{ K€/ano}$$

A vida económica do empilhador actual verifica-se dentro de 1 ano, pois neste momento o custo anual é mínimo e igual a 9,98 K€/ano.

Quadro II.16 – Custo do empilhador actual

Mais 1 ano	Mais 2 anos	Mais 3 anos
9,98 (mínimo)	10,73	11,54

Constatamos que o custo anual mínimo do empilhador actual ocorrerá no fim do primeiro ano, pelo que temos de calcular os custos marginais em cada ano da alternativa de manter este empilhador.

Custo marginal do ano 1:

- Custo de oportunidade pela queda do valor de mercado entre o princípio e o fim do ano 1: $14,500 - 12,000 = 2,500$ K€
- Custo de oportunidade pela perda de juros da quantia de 14,500 K€ durante 1 ano: $0,15 \times 14,500 = 2,175$ K€
- Custo de O&M = 5,300 K€
- Custo marginal total do ano 1: $2,500 + 2,175 + 5,300 = 9,975$ K€

Procedendo de igual modo para os anos 2 e 3, obtemos:

- Custo marginal total do ano 2 = 11,600 K€
- Custo marginal total do ano 3 = 13,550 K€

Passo 3

O custo marginal de manter por mais 1 ano o empilhador actual é 9,98 K€. Este valor é inferior ao custo anual mínimo 10,57 K€ do empilhador candidato, pelo que testamos a hipótese de o manter por mais 1 ano (até ao ano 2). Se o empilhador actual for mantido por mais 1 ano, o custo marginal será de 11,60 K€. Mas, neste caso, o custo marginal já será superior ao custo anual mínimo possível conseguir com o empilhador candidato, pelo que já não se justifica economicamente esperar 2 anos para substituir o empilhador actual. Logo, devemos substituir este empilhador ao fim de 1 ano. Ver este resultado na Figura 7.19. Na verdade, a conclusão deverá ser antes a seguinte: “Não substituir já o empilhador actual e aguardar, pelo menos mais 1 ano (nessa altura, refazem-se os cálculos, pois os novos dados sobre o empilhador candidato, poderão conduzir à decisão de aguardar eventualmente mais 1 ano).”

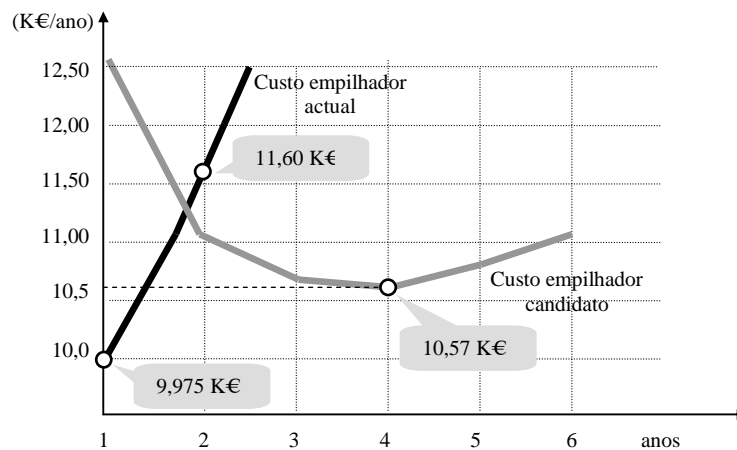


Figura II.8 – Empilhador actual versus empilhador candidato

Poderíamos ainda concluir depois de termos realizado uma análise de sensibilidade que:

- O valor de mercado do empilhador novo abaixo do qual a decisão “Adquirir o empilhador novo já” passa a ser a correcta é 23,12 K€;
- A taxa de referência abaixo da qual a decisão “Adquirir o empilhador novo já” passa a ser a correcta é 5%.

II.8 Conclusões

O propósito deste trabalho foi o de demonstrar a necessidade de os responsáveis da Manutenção adquirirem competências na área financeira para poderem “falar” a linguagem da gestão e assumir responsabilidades na área da Gestão de Activos Físicos. Para além destas competências, ficou implícito que também o tema da Fiabilidade e Manutibilidade são imprescindíveis para o sucesso daquelas funções. Com efeito, numa primeira fase, é a compreensão do comportamento em falha dos componentes críticos de um equipamento e a selecção criteriosa das políticas de manutenção que irão determinar a magnitude dos custos e a disponibilidade (nível de serviço) consequentes. Só numa segunda fase, estas consequências operacionais são traduzidas em euros.

Uma análise de sensibilidade da variável (ou variáveis) de saída de um modelo a variações das variáveis de entrada é um procedimento aconselhado se quisermos estar preparados e ter as respostas prontas em antecipação a eventuais perguntas da Administração ou de Entidades financiadoras.

Este trabalho limitou-se a demonstrar alguns exemplos mais clássicos onde as ferramentas de análise financeira são imprescindíveis. Contudo, muitas outras situações típicas se podem apresentar ao Gestor de Activos Físicos, como por exemplo:

- Qual a previsão de consumo de um determinado componente caro para integrar o orçamento deslizando do próximo trimestre?
- Quais os parâmetros de gestão mais adequados para gerir um determinado componente existente em vários equipamentos e que pode falhar por diferentes modos?
- Quando parar as encomendas de um determinado componente pertencente a um equipamento que vai ser desactivado?
- Determinado sobressalente caro, justificar-se-á economicamente adquiri-lo e mantê-lo em *stock*?
- Determinado órgão complexo e caro, justificar-se-á economicamente manter algumas unidades em *stock* como rotáveis em alternativa aos seus componentes críticos de menor custo?
- Qual a periodicidade de manutenção preventiva sistemática de cada um dos componentes críticos de um equipamento que permite obter o custo horário mínimo de manutenção ou a disponibilidade máxima?
- Como ajustar a periodicidade de manutenção preventiva sistemática à medida que mais informação sobre intervenções se vai acumulando?
- Será economicamente viável montar um sensor para detecção da proximidade do estado de falhado (monitorização remota *on-line*) de um determinado componente?
- Qual deverá ser o calendário de inspecções de um componente que falha por degradação ou de modo casual de forma evidente (monitorização *off-line*)? E de forma oculta?
- Será economicamente viável realizar uma grande reparação num determinado equipamento em alternativa à sua substituição?

A todas estas e a muitas outras do mesmo âmbito deverá o Gestor de Activos Físicos eficiente ser capaz de responder.

III. Referências

- Ardit, D. and Messiha, H.M. (1999), Life cycle cost analysis (LCCA) in municipal organizations. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 5 N. 1, pp. 1-10.
- Asiedu, Y. and Gu, P. (1998), Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International Journal of Production Research*, Vol. 26 N.4, pp. 883-908.
- ASTM International (2002), Standard practice for measuring life-cycle costs of buildings and building system. *Annual Book of ASTM Standards: 2002*, Vol. 4, ASTM International West Conshohocken, PA, E 917, No. 11.
- Barringer, H.P and Weber, D.P. (1996), Life cycle cost tutorial. Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Houston, TX, October 2-4, pp. 58.
- BAS PAS 55 (2008), Asset Management: PAS 55-1, Part 1: Specification for the optimized management of physical assets | PAS 55-2, Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1. British Standards, UK.

- Bescherer, F (2005), established Life Cycle Concepts in the Business Environment – Introduction and terminology, Laboratory of Industrial Management Report Series, report 1/2005, Helsinki University.
- Durairaj, S.K., et al. (2002), Evaluation of life cycle cost analysis methodologies, corporate Environment Strategy, Vol. 9 N. 1, pp. 30-9.
- Emblemvag, J. (2001), Activity-based life-cycle costing. Managerial Auditing Journal, Vol. 16, N. 1, pp. 17-27.
- Fabrycky, W.J. and Blanchard, B.S. (1991), Life Cycle Cost and Economic Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- International Electrotechnical Commissioning (2004), IEC 60300-3-3: Dependability management – Part 3-3: life cycle cost analysis – Application Guide, Chicago, IL.
- Korpi, E. and Ala-Risku, T. (2008), Life cycle costing: a review of public case studies. Managerial Auditing Journal, Vol. 23, N. 3, pp. 240-61.
- White, G.E. and Ostwald, P.F. (1976), Life cycle costing. Management Accounting, Vol. 57 N. 7, pp. 39-42.
- Woodward, D. (1997), Life Cycle Costing – theory, information acquisition and application. International Journal of Project Management, Vol. 15, N. 6, pp. 355-44.