

Análise de viabilidade de manter um sobressalente caro nas alternativas “reparável” ou “não reparável”

Rui Assis ⁽¹⁾, José Sobral ⁽²⁾
rassis@rassis.com (www.rassis.com), jsobral@dem.isel.ipl.pt

⁽¹⁾ Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona e Associação Portuguesa de Manutenção Industrial, Portugal

⁽²⁾ Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e Centro de Engenharia e Tecnologia Naval e Oceânica (CENTEC), Portugal

Resumo

Com frequência, as empresas deparam-se com o dilema de aprovar (ou não) a aquisição, juntamente com um equipamento, de um conjunto de peças de substituição de componentes ou, mesmo, de órgãos completos (um moto-reductor, um motor eléctrico, uma válvula motorizada, uma bomba hidráulica, uma electroválvula, um sensor, etc.), propostas pelo fornecedor daquele. Se a empresa dispuser de um serviço de Manutenção devidamente dimensionado, organizado e documentado, adiará para as vésperas de uma intervenção preventiva (sistemática ou condicionada) a encomenda ao fornecedor daqueles componentes. Porém, muitas vezes acontece que algumas destes componentes (ou órgãos) irão falhar antes das datas planeadas de intervenção preventiva, devido a modos de falha de causas fortuitas ou exógenas – muitas vezes originadas por erros de operação –, pelo que se torna necessário manter uma ou mais unidades em reserva. Frequentemente, no caso de sobressalentes caros, as alternativas concentram-se em manter ou não um único sobressalente de reserva.

Este tema dos sobressalentes é vasto. A referência [1] mostra como determinar a quantidade óptima económica de componentes rotáveis a manter em *stock* pertencentes a diferentes equipamentos, funcionando em diferentes condições fiabilísticas e diferentes regimes de funcionamento diário e anual.

Na referência [2] foi analisada a questão “Será economicamente viável manter um sobressalente caro em *stock*?”. Com este artigo dá-se mais um passo no sentido de completar aquela questão, voltando ao mesmo caso, mas considerando desta vez o sobressalente reparável (rotável) e mais algumas variáveis.

O caso é modelado em EXCEL e resolvido pelo método de simulação de Monte Carlo, tendo em conta a natureza estocástica dos momentos de falha.

Palavras-chave: Weibull, Rotável, Factor de Restauo, Coeficiente de simultaneidade, Custo de oportunidade, Custo de posse, Simulação de Monte-Carlo.

Os autores adoptam o anterior acordo ortográfico.

1. Introdução

Um equipamento crítico num processo de negócio – seja novo, acabado de adquirir, ou já usado – deve ser submetido a uma análise RCM (*Reliability Centered Maintenance*), de forma a identificar os seus órgãos críticos e, por sua vez, os componentes críticos em cada um destes – aqueles que ao falhar comprometem a função do órgão e, por sua vez, a função do equipamento – e seleccionar as políticas de manutenção mais adequadas a cada um destes componentes com base no modo de falha predominante ou no conjunto dos modos de falha actuantes [3]. Alguns destes órgãos, porém, não são reparáveis na empresa detentora do equipamento e são enviados fora para empresas especializadas. Estes órgãos (bombas hidráulicas, motores eléctricos, ventiladores,...) são designados por LRU’s (*Lowest Replaceable Units*).

As políticas seleccionadas de manutenção vão necessariamente influenciar a gestão de *stocks* de sobressalentes. No caso dos componentes que falham devido a um ou mais modos casuais (fortuitos) justifica-se a existência em *stock* de uma ou mais unidades de reserva. Porém, no caso dos componentes que apresentam modos de falha de degradação, devem ser substituídos preventivamente (sistemática ou condicionalmente) em momentos planeados, pelo que devem ser adquiridos o mais tarde possível, de acordo

com o algoritmo MRP (*Materials Requirements Planning*). Este procedimento permite evitar a sobrecarga do armazém de manutenção, incorrer em custos de oportunidade do capital empatado e no risco de constituição de monos.

Quando um órgão ou componente (reparável ou não) e apresenta uma taxa de falhas muito reduzida – da ordem de uma vez em dois, três ou mais anos –, o cálculo da quantidade necessária manter em *stock*, pela aproximação da procura a uma distribuição de probabilidade discreta de *Poisson* e tendo em conta somente o nível de serviço, conduz frequentemente ao resultado zero. É este o caso dos órgãos caros (um moto redutor, um motor elétrico, uma válvula motorizada, uma bomba hidráulica, um autómato, um cilindro hidráulico, uma embraiagem, um *encoder*, etc.). Acresce também o facto de estes representarem custos de posse elevados. Por outro lado, uma decisão a favor ou não do investimento num sobressalente tem repercussões no médio e longo prazo e, nestas circunstâncias, devemos considerar a perda de valor do dinheiro no tempo. Quando um sobressalente é muito caro e a probabilidade de vir a ser necessário é reconhecidamente reduzida, a decisão de adquirir e manter uma unidade em *stock* durante anos (eventualmente até ao fim da vida útil prevista do equipamento ao qual o sobressalente se destina) deve depender do resultado de uma análise económica prévia.

2. Combinação de estados alternativos

Relativamente aos bens, a norma EN 13306 [4] define que um bem é considerado reparável quando pode ser restaurado, sob dadas condições e após a ocorrência de uma avaria, para um estado no qual pode desempenhar a função requerida. Esta norma também define um bem consumível como aquele que é descartável (não reparável), sendo regularmente substituído e geralmente de baixo custo. Em ambas as situações a questão que se coloca é normalmente decidir se devemos possuir, ou não, bens sobressalentes em *stock*.

Existem quatro alternativas a considerar, dependendo se o órgão é ou não reparável:

2.1. “Sobressalente SIM (SS)”:

- Reparável (R) – Manter permanentemente um sobressalente em *stock*. O órgão é prontamente substituído pelo sobressalente quando falha, é depois reparado e fica em *stock* aguardando uma nova falha, constituindo um rotável (Figura 1). O ciclo repete-se até que o número limite de reparações é atingido. Nesta circunstância, é encomendado um órgão novo ao fornecedor;
- Não Reparável (NR) – Manter permanentemente um sobressalente em *stock*. O órgão é prontamente substituído pelo sobressalente quando falha, e um órgão novo é imediatamente encomendado ao fornecedor.

2.2. “Sobressalente NÃO (SN)”:

- Reparável (R) – Não manter o sobressalente em *stock*. Quando ocorre uma falha, o órgão falhado é reparado e volta ao serviço até esgotar o número limite de reparações admissível. Após este número ter sido atingido, na próxima falha, um novo órgão é encomendado ao fornecedor;
- Não Reparável (NR) – Não manter o sobressalente em *stock* e adquiri-lo apenas todas as vezes que se tornar necessário para substituir o órgão que acabou de falhar.

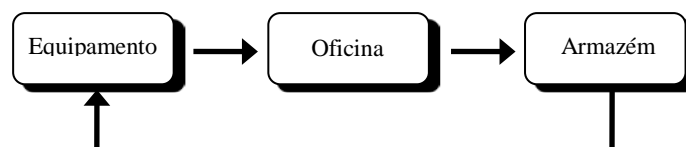


Figura 1 – Ciclo de um órgão rotável

Na primeira circunstância, incorremos em custos de oportunidade do capital permanentemente imobilizado, em custos de armazenagem e em custos de oportunidade moderados durante o tempo em que decorre a substituição do órgão falhado pelo sobressalente. Na segunda circunstância, incorremos em custos de capital sempre que adquirirmos um novo sobressalente e em custos de oportunidade devidos ao equipamento parado aguardando a chegada do novo sobressalente e a sua montagem logo que chegou.

Teremos assim as alternativas SSR, SSNR, SNR e SNNR.

Nos casos em que o órgão é reparável (SSR e SNR), interessa ter em conta o facto frequente de que a vida média restante, após cada falha seguida de reparação, vai progressivamente reduzindo-se (recauchutagem de pneus, rectificação do rodado de vagões,...). Matematicamente, esta redução é tida em conta nos cálculos através de um factor, conhecido por “Factor de Restauro (FR)”.

Diversos trabalhos podem ser consultados onde este factor é estudado e integrado nas análises de fiabilidade de bens reparáveis. Em muitos destes estudos refere-se a actividade de manutenção como reparação ou manutenção imperfeita, uma vez que depois da mesma os bens não se apresentam num estado como novo (AGAN – *As Good As New*).

Por exemplo, Mullor et al [5] formalizam a incerteza na ocorrência de avarias e no seu efeito nas actividades de manutenção considerando para cada bem um modelo específico, determinado através da combinação da taxa de avarias e modelos de manutenção imperfeita. Os modelos seleccionados são usados em função do custo por unidade de tempo e a fiabilidade média. Para melhor compreensão, os autores apresentam um exemplo real de aplicação.

Noutro estudo realizado por Wu et al [6] é apresentado um modelo de optimização desenvolvido com o objectivo de minimizar o custo total de uma manutenção imperfeita. Neste trabalho os autores determinam o intervalo óptimo para a monitorização da condição e o nível de degradação após reparações imperfeitas. O modelo considera a relação funcional entre a redução de degradação expectável e o custo de reparações preventivas. Os resultados mostram a importância do modelo desenvolvido e as variáveis assumidas na formulação para obtenção do custo mínimo.

Nguyen et al [7] também apresentam um estudo sobre sistemas reparáveis sujeitos a reparação imperfeita. Neste caso assume-se que a taxa de avarias segue uma distribuição de *Weibull* e a eficiência da reparação é caracterizada pelo modelo de envelhecimento virtual Kijima tipo II, designado “*Arithmetic Reduction of Age*” com memória infinita. O objectivo é a implementação de uma política de manutenção preventiva baseada na idade, e usa simulações numéricas para ilustrar as várias políticas.

Muitos outros estudos poderiam ser referidos, usando modelos de reparação ou manutenção imperfeitas, com objectivos específicos e desenvolvendo modelos apropriados. Este tema é, de facto, muito importante e deve ser estudado pelas organizações que pretendam obter informação mais realista e fiável no que concerne aos estudos de fiabilidade e consequentes actividades de manutenção.

Na realidade, após uma intervenção a um bem reparável, este normalmente não ficará num estado “*As Good As New*”, mas também não irá permanecer num estado “*As Bad As Old*”, ficando normalmente num estado intermédio, sendo portanto adequada aplicação de um factor de restauro, tal como descrito na secção seguinte.

3. Factor de Restauro

Este factor é também de natureza probabilística, pois irá condicionar os valores aleatórios dos TTF que se seguem após a primeira falha seguida de reparação, até à última falha, momento em que é descartado.

Frequentemente considera-se que um componente quando é reparado volta ao estado de novo (*As Good As New*). Este pressuposto é obviamente verdadeiro quando o componente não é reparável, pois após falhar, é substituído por um componente novo. Porém, aquele pode não ser o caso, adoptando-se então um factor de restauro FR (entre 0 e 1 ou 100%) para traduzir o conceito de “reparação perfeita” ($FR = 1$) ou de “reparação imperfeita” ($0 \leq FR < 1$).

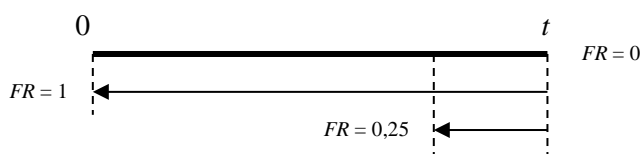


Figura 2 – Um exemplo do conceito “Factor de Restauro” FR

A melhor forma de classificar um componente como não sendo novo (*not as good as new*) consiste em atribuir-lhe já alguma idade. Assim (Figura 2):

- Um factor de restauro $FR = 1$ significa que o componente voltou ao estado de novo após a reparação (*as good as new*); a sua vida recomeça de 0;
- Um $FR = 0$ significa que o componente ficou no mesmo estado em que se encontrava antes da reparação (*as bad as old*); a sua vida recomeça com a mesma idade que tinha no momento da falha;
- Um factor de restauro de, por exemplo, $FR = 0,25$ significa que a sua vida recomeça com uma idade igual a 75% da idade que tinha no momento da falha.

Na prática, um componente reparável não o será indefinidamente, mas sim um número finito de vezes antes de ser descartado. Pode ainda acontecer que, cada vez que um componente é reparado, o FR seja decrementado por uma taxa de progressão geométrica g . Assim, por exemplo, no caso de um componente que recebe um número máximo de reparações igual a 3, para um $FR = 1$ e uma taxa de progressão geométrica $g = 5\%$, ter-se-á como factores de restauro:

Após a 1ª reparação: $FR = 1$; Após a 2ª reparação: $FR = 1 \times (1 - 0,05) = 0,95$; Após a 3ª reparação: $FR = 0,95 \times (1 - 0,05) = 0,9025$; Após a 4ª reparação: $FR = 0,9025 \times (1 - 0,05) = 0,8574$, e assim sucessivamente até esgotar o número de reparações admissíveis ou até se revelar técnica e/ou economicamente inviável a sua continuidade. A Expressão a empregar é pois a seguinte:

$$FR_n = FR_{n-1} \cdot (1 - g) \quad (1)$$

A determinação dos parâmetros FR e g ; embora fácil de realizar e sistematizar com uma rotina de programação em computador, requer uma grande disciplina da Organização de forma a assegurar que todos os dados pertinentes sejam recolhidos e mantidos num repositório¹. O tratamento estatístico destes dados permite encontrar os valores de FR e de g até esse momento². Se o sistema não for alterado na perspectiva da fiabilidade (carga e ambiente), novos dados juntar-se-ão ao histórico e o cálculo dos parâmetros FR e g beneficiará de maior precisão. Se o sistema for alterado os dados históricos devem ser abandonados, já que não representam o novo sistema, e deve iniciar-se um novo registo.

4. Factores de conversão do dinheiro no tempo

Das seis fórmulas básicas de conversão do dinheiro no tempo³, apresentam-se aqui apenas as duas que suportam o exemplo de aplicação descrito adiante na secção 5.

Estas fórmulas aplicam-se a situações comuns na prática em que a capitalização é discreta (superior a 1 dia). Nestas fórmulas utilizam-se os seguintes símbolos:

- i – Taxa de juro do período;
- n – Número de períodos de capitalização;
- P – Valor presente (ou atual) do capital;
- A – Renda no fim de cada período;
- F – Valor futuro do capital P no fim de qualquer período.

E admitem-se as seguintes condições:

- O fim de um período corresponde ao início do seguinte;
- P verifica-se no início de n períodos;
- F verifica-se no fim de qualquer período;
- A verifica-se no fim de cada período;
- Quando coexistem P e A , o primeiro A da série ocorre 1 período depois de P ;
- Quando coexistem F e A , o último A da série ocorre no mesmo momento que F .

¹ Os TTF terão necessariamente de ser codificados como “após primeira falha (reparação)”, após segunda falha (reparação), etc.

² A referência [2] descreve um exemplo de cálculo

³ Descritas nas sua totalidade juntamente com exemplos na referência [2] e operáveis na aplicação EXCEL “Factores de Conversão” que o acompanha.

4.1. Conversão de um capital futuro F no seu valor presente P

$$P = F \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (2)$$

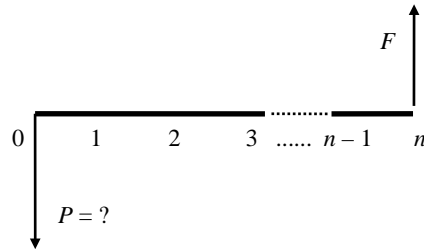


Figura 3 – Conhecido F , calcular P , $(P/F; i; n)$

4.2. Conversão de um capital presente P num valor periódico (renda) constante A

$$A = P \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (3)$$

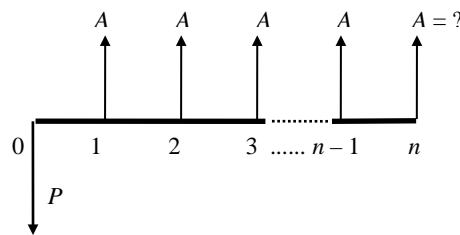


Figura 4 – Conhecido P , calcular A , $(A/P; i; n)$

Mais uma vez, o recurso à simulação constitui a forma mais simples de resolução. A programação de um modelo pode fazer-se seguindo uma lógica fácil de entender. Demonstremo-lo recorrendo a um exemplo de aplicação destes conceitos.

5. Exemplo de aplicação

Um equipamento crítico no normal fluxo de produção, cuja vida restante é estimada em 10 anos e que funciona no regime de 336 horas/ano e 24 horas/dia, integra um determinado órgão que funciona em média 90% do tempo. Este órgão, quando falha, causa a paragem do equipamento durante várias horas, criando custos de oportunidade muito elevados. O tratamento do histórico de falhas deste órgão permitiu apurar um MTTF igual a 3,5 anos.

O tempo médio de paragem (*Mean Down Time* – MDT) do equipamento para substituição do órgão falhado pelo sobressalente, quando este existe em *stock*, é 2 horas. Quando o sobressalente não existe em *stock* e tem de ser encomendado ao fornecedor, o MDT é 16 horas. Quando o órgão é reparável, o MDT é 6 horas.

O custo de oportunidade, devido ao tempo do equipamento parado, é estimado em 350 €/hora. O custo da m.d.o. de manutenção é, por comparação, desprezável.

O custo atual de um órgão sobressalente é 750 €. O custo da sua armazenagem é estimado em 20%.ano (gastam-se 20 € para guardar 100 € durante 1 ano) e o custo de oportunidade do capital imobilizado (taxa de referência, de rentabilidade mínima ou de corte) encontra-se fixado em 15%.ano (perde-se a oportunidade de ganhar 15 € por cada 100 € imobilizados em *stock* durante 1 ano).

A quantidade admissível de reparações, o FR (Factor de Restauo) e a taxa de progressão g são estimados em 3, 0,8 e 5%, respectivamente⁴.

Pretendemos saber qual a alternativa mais económica – manter permanentemente um sobressalente em stock SS ou não SN –, considerando as duas sub-alternativas reparável R e não reparável NR.

Alternativa “SSR”

A Figura 5 mostra o *cash-flow* de uma iteração do simulador, representando os custos incorridos durante o período de 10 anos, durante o qual se supôs terem-se verificado 4 falhas: f_1, f_2, f_3 e f_4 nos seguintes momentos calendário: $a_{2,3} = 2,50$ anos; $a_{4,5} = 4,75$ anos; $a_{7,8} = 7,30$; $a_{8,9} = 8,60$ anos. A Figura mostra ainda o custo do investimento “à cabeça” do primeiro sobressalente (750 €), os custos de armazenagem concentrados no final de cada ano ($0,2 \times 750 = 150$ €/ano) e os custos de oportunidade devidos ao equipamento parado durante 2 horas em resultado das 4 falhas (2 horas \times 350 €/falha = 700 €), enquanto se procede à substituição do componente falhado pelo seu sobressalente. Quando ocorre a terceira falha, tendo-se esgotado o número admissível de reparações, o órgão já não será reparável e, em consequência, encomenda-se outro sobressalente (+ 750 €), o qual estará disponível se e quando a quarta falha ocorrer.

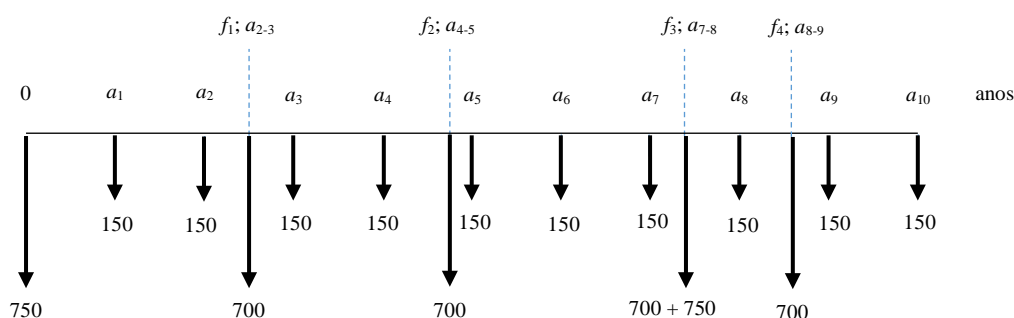


Figura 5 – Cash-flow (em €) da Alternativa SSR

Actualizando todos os custos, obtemos:

$$P_{SSR} = 750 + 150 \times (P/A;15\%;10) + 700 \times (P/F;15\%;2,50) + 700 \times (P/F;15\%;4,75) + (700 + 750) \times (P/F;15\%;7,30) + 700 \times (P/F;15\%;8,60) \cong 3.090 \text{ €}$$

Alternativa SSNR

Cada vez que ocorre uma falha, substitui-se o órgão falhado (não reparável) pelo sobressalente e encomenda-se um novo sobressalente, pelo que o custo de cada falha será $2 \times 350 + 750 = 1.450$ €. A Figura 6 mostra o *cash-flow* representativo da mesma iteração do simulador.

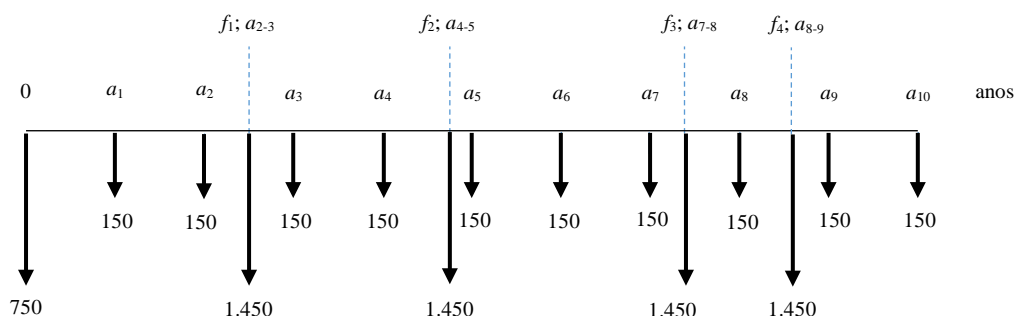


Figura 6 – Cash-flow (em €) da Alternativa SSNR

Actualizando todos os custos, obtemos:

⁴ A referência [8] exemplifica como estes dois parâmetros podem ser deduzidos a partir de dados históricos.

$$P_{SSNR} = 750 + 150 \times (P/A;15\%;10) + 1.450 \times (P/F;15\%;2,50) + 1.450 \times (P/F;15\%;4,75) + 1.450 \times (P/F;15\%;7,30) + 1.450 \times (P/F;15\%;8,60) \cong 4.230 \text{ €}$$

Alternativa SNR

A Figura 7 mostra o *cash-flow* da mesma iteração do simulador. Não havendo um sobressalente, o órgão terá de ser reparado, obrigando o equipamento a ficar indisponível durante 6 horas. O custo de cada reparação será então o seguinte: 6 horas x 350 €/hora = 2.100 €

Quando ocorrer a terceira falha, tendo-se esgotado o número admissível de reparações, o órgão já não será reparável e, em consequência, encomenda-se outro sobressalente (+ 750 €), o qual estará disponível se e quando a quarta falha ocorrer.

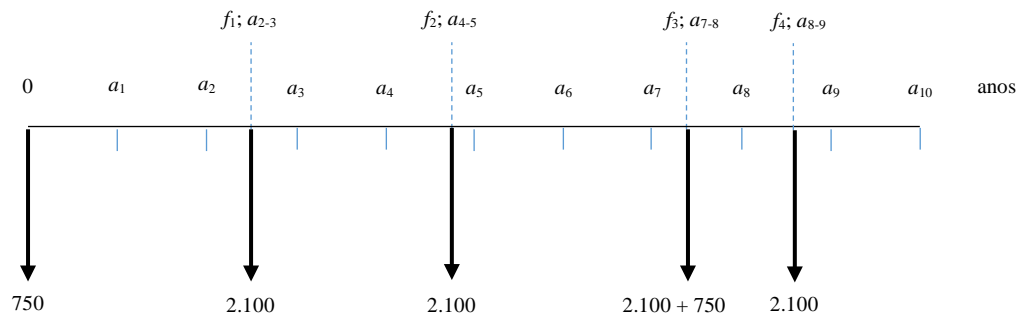


Figura 7 – Cash-flow (em €) da Alternativa SNR

Actualizando todos os custos, obtemos:

$$P_{SNR} = 750 + 2.100 \times (P/F;15\%;2,50) + 2.100 \times (P/F;15\%;4,75) + (2.100 + 750) \times (P/F;15\%;7,30) + 2.100 \times (P/F;15\%;8,60) \cong 4.970 \text{ €}$$

Alternativa SNNR

Não havendo um sobressalente, sempre que ocorre uma falha, encomenda-se um órgão novo, obrigando o equipamento a ficar indisponível durante 16 horas, pelo que o custo de cada falha será 16 x 350 + 750 = 6.350 €. A Figura 8 mostra o *cash-flow* representativo da mesma iteração do simulador.

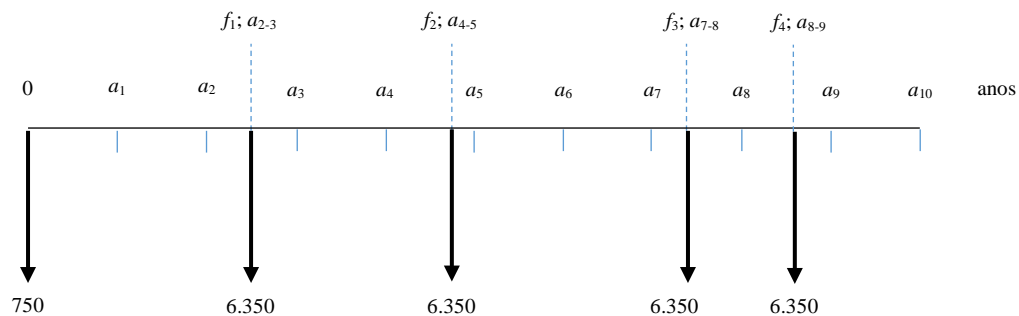


Figura 8 – Cash-flow (em €) da Alternativa SNNR

Actualizando todos os custos, obtemos:

$$P_{SNNR} = 750 + 6.350 \times (P/F;15\%;2,50) + 6.350 \times (P/F;15\%;4,75) + 6.350 \times (P/F;15\%;7,30) + 6.350 \times (P/F;15\%;8,60) \cong 12.695 \text{ €}$$

As duas únicas comparações que fazem sentido são as seguintes: SSR *versus* SNR e SSNR *versus* SNNR.

Teremos então resultantes desta iteração do simulador: P_{SSR} : 3.090 € versus P_{SNR} : 4.970 € e P_{SSNR} : 4.230 € versus P_{SNNR} : 12.695 €

Concluimos então que a alternativa SS é mais económica do que a alternativa SN. Logo, deve-se manter permanentemente um sobressalente em *stock*.

Contudo, devido à natureza estocástica das falhas, tem de se construir um modelo de simulação de forma a obter muitos mais resultados (amostras) para conseguir suficiente significância estatística. A referência [9] descreve os conceitos e as técnicas necessárias para o fazer. Esta referência integra também um repetidor que permite a obtenção de uma amostra tão grande quanto se deseje da variável analisada e calcula os intervalos de confiança do seu valor esperado.

As Figura 9 e 10 mostram os resultados de uma das iterações do modelo de simulação construído para as quatro alternativas.

Ordem de falha	TTF's sem reparações		SSNR	SNNR
	Σ TTF	Σ TTF (filtro)	Cash-flow	Cash-flow
0			750	750
1	0,23	0,23	1.403	6.145
2	0,56	0,56	1.340	5.868
3	2,14	2,14	1.075	4.709
4	3,48	3,48	891	3.903
5	7,30	7,30	523	2.290
6	17,90	-	-	-
7	23,65	-	-	-
8	27,91	-	-	-
9	33,59	-	-	-
10	37,74	-	-	-
Armazenagem =			753	€ /ano
			6.736	€
				23.666
				€

Figura 9 – Cash-flow (em €) de uma das iterações do simulador das Alternativas SSNR e SNNR

Os tempos simulados e acumulados mostrados na 2ª coluna resultaram da Expressão analítica do processo gerador de uma Exponencial negativa, a qual permite modelar falhas casuais ou esporádicas, e foram posteriormente ajustados para “tempo calendário”, conforme explicado no 3º parágrafo das Conclusões.

Ordem de falha	TTF's com reparações		SSR	SNR
	Σ TTF	Σ TTF (filtro)	Cash-flow	Cash-flow
0			750	750
1	0,72	0,72	633	1.898
2	8,48	8,48	214	642
3	9,28	9,28	397	779
4	10,98	-	-	-
5	19,36	-	-	-
6	20,38	-	-	-
7	32,86	-	-	-
8	37,19	-	-	-
9	41,83	-	-	-
10	42,20	-	-	-
Armazenagem =			753	€ /ano
			2.746	€
				4.069
				€

Figura 10 – Cash-flow (em €) de uma das iterações do simulador das Alternativas SSR e SNR

Os tempos simulados e acumulados mostrados na 2ª coluna resultaram da aplicação EXCEL “Factor Restauro” que integra a referência [2] e foram posteriormente ajustados para “tempo calendário”, conforme explicado no 3º parágrafo das Conclusões.

Após correr o simulador umas centenas de vezes, obtêm-se os seguintes valores esperados:

$P_{SSR} \cong 2.530$ € versus $P_{SNR} \cong 3.560$ € e $P_{SSNR} \cong 3.320$ € versus $P_{SNNR} \cong 8.670$ €

Agora sim, pode-se concluir que a alternativa SS é mais económica do que a alternativa SN, quer na versão reparável (R) em cerca de 30%, quer na versão não reparável (NR) em cerca de 60%. Logo, deve-se manter permanentemente um sobressalente em *stock*.

6. Conclusões

Mais uma vez se comprova que as técnicas de simulação permitem modelar casos muito complexos – praticamente impossíveis de modelar analiticamente.

Nas alternativas SSR e SSNR, foi tido em devida conta que, mesmo que uma falha ocorra já próximo do fim de vida útil do equipamento, um novo sobressalente será sempre adquirido. Esta poderá não ser a decisão quando a ocasião se proporcionar no futuro, em resultado de uma análise de risco.

Notar que os TTF simulados em horas de funcionamento tiveram de ser ajustados para horas calendário do equipamento, multiplicando aqueles pelo factor $(365 \times 24)/(336 \times 24) \times 1/0,9$, ou seja, pela proporção de horas existentes em 1 ano de calendário / horas de funcionamento e pelo inverso do coeficiente de simultaneidade do órgão. Uma forma alternativa de ter em conta a diferença entre “tempo calendário” e “tempo de funcionamento” consiste em ajustar a taxa de desconto dos *cash-flows* (ou de oportunidade do capital da empresa). Trata-se de um detalhe, porém importante e muitas vezes esquecido pelos analistas que não dominam o cálculo financeiro.

Num caso como o descrito acima e com o objectivo de antecipar as respostas a perguntas que poderão ser colocadas por interlocutores, será útil terminar com uma análise de sensibilidade dos resultados a algumas das variáveis mais críticas e que poderão eventualmente ser influenciadas (geridas). Não será este o caso, porém, de uma análise de sensibilidade à variável “Custo do sobressalente”, resultou:

Ponto de indiferença económica⁵ entre as alternativas SSNR e SNNR $\cong 6.300 \text{ €}$

Ponto de indiferença económica entre as alternativas SSR e SNR $\cong 1.700 \text{ €}$

E no caso da variável “Custo de oportunidade”, resultou:

Ponto de indiferença económica entre as alternativas SSNR e SNNR $\cong 45 \text{ €/hora}$;

Ponto de indiferença económica entre as alternativas SSR e SNR $\cong 150 \text{ €/hora}$.

O presente trabalho apresenta-se como uma mais-valia para todos os profissionais que tenham como responsabilidade a gestão dos activos físicos, e mais propriamente na sua Manutenção, descrevendo algoritmos de simulação que permitem ajudar nos processos de tomada de decisão, no que respeita a ter, ou não ter, sobressalentes em *stock*, quer se trate de bens reparáveis ou bens não reparáveis.

Referências bibliográficas

[1] Assis, Rui, “Quantidade ideal de componentes (ou órgãos) rotáveis a manter em *stock*, 13º Congresso Nacional de Manutenção, 2015

http://www.rassis.com/artigos/Manutencao/Artigo_Rui%20Assis_Congresso_APMI%202015.pdf

[2] Assis, Rui, “Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos”, LIDEL, 2014

http://www.rassis.com/livro_ADMGAF.html

[3] Assis, Rui e Ribeiro, João, “Periodicidade óptima económica de MPS de um componente crítico apresentando mais de um modo de falha”, Jornadas de Manutenção, Exponor, 2018

http://www.rassis.com/artigos/Manutencao/Slides%20Jornadas%20APMI_2018.pdf

[4] BSI, “EN 13306:2017 – Maintenance – Maintenance terminology”, British Standards Institution, ISBN 978 0 580 90370 0, 2018

[5] R. Mullor, J. Mulero e M. Trottini, “A modelling approach to optimal imperfect maintenance of repairable equipment with multiple failure modes”, Computers & Industrial Engineering, Volume 128, Pages 24-31, 2019

[6] Wu, F., Niknam, S.A. e Kobza, J.E, “A cost effective degradation-based maintenance strategy under imperfect repair”, Reliability Engineering & System Safety, Volume 144, Pages 234-243, 2015

⁵ Ou de inversão da decisão

- [7] Nguyen, D.T., Dijoux, Y. e Fouladirad, M., “Analytical properties of an imperfect repair model and application in preventive maintenance scheduling”, European Journal of Operational Research, Volume 256, Issue 2, Pages 439-453, 2017
- [8] Assis, Rui, “Manutenção de oportunidade de um componente reparável”, 14º Congresso Nacional de Manutenção, 2017
http://www.rassis.com/artigos/Manutencao/Artigo_Rui%20Assis_Congresso_APMI_2017.pdf
- [9] Assis, Rui, “EXCEL na Simulação de Sistemas e Análise de Risco”, AMAZON, 2014
http://www.rassis.com/livro_SSAR.html