

“Seleccção de um equipamento pelo Método Hierárquico Multicritério”

Rui Assis

Engenheiro Mecânico IST

rassis@netcabo.pt

Fevereiro de 2004

Resumo

O presente artigo descreve, através de um exemplo, a forma de seleccionar um equipamento de produção integrando as perspectivas da Produção (que pretende minimizar os custos de operação), da Qualidade (que pretende minimizar as não-conformidades), da Manutenção (que pretende maximizar a disponibilidade). Aquelas perspectivas ou critérios são, uns de natureza qualitativa (subjectiva) e outros de natureza quantitativa (objectiva). Recorrendo-se ao Método Hierárquico Multicritério (MHM) é possível integrar ambas as naturezas de critérios no processo de apoio à decisão. Com o MHM consegue-se uma grande precisão das avaliações pois o método permite desdobrar os critérios em vários níveis de subcritérios e ter em conta conceitos tais como a flexibilidade, a segurança, a previsibilidade e os custos ao longo do ciclo de vida – determinantes da competitividade operacional. O MHM permite priorizar quaisquer medidas sob análise ou seleccionar a melhor alternativa entre várias mutuamente exclusivas. Entende-se por melhor alternativa aquela a que corresponde o melhor compromisso possível dos julgamentos realizados à luz dos vários critérios considerados. O método de análise ilustrado neste artigo será em breve objecto de uma aplicação em software a desenvolver no Instituto de Soldadura e Qualidade e destinada aos Gestores da Manutenção.

Introdução

Com a globalização da economia e o aumento da concorrência, as empresas vêm-se compelidas, desde há alguns anos, a integrar nos seus objectivos não só os económicos – que visam a maximização do lucro – mas também outros, de natureza mais estratégica e vitais para a sua sobrevivência. Alguns destes objectivos não económicos referem-se a necessidades sociais, segurança e conforto dos seus colaboradores, à ética ambiental, à qualidade dos produtos, às relações com fornecedores e distribuidores, à imagem/prestígio, à legislação, à resposta rápida a solicitações do mercado, ao impacto das suas actividades na comunidade local, etc.

No caso concreto das actividades de manutenção, assiste-se cada vez mais à preocupação das empresas em integrar no processo de aquisição de um equipamento, logo na fase de pré-consulta ao mercado, um conjunto de especificações que traduzem níveis considerados aceitáveis de fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança (metodologia RAMS). Para além destes critérios de avaliação, surgem outras preocupações de natureza mais estratégica como sejam o custo previsional do ciclo de vida LCC, a flexibilidade, etc. Por fim, surgem os critérios técnicos – sendo os mais óbvios (a precisão, a potência, a velocidade, etc.), muitas vezes são também aqueles que, conjuntamente com o custo inicial, constituem erradamente os únicos critérios considerados.

È neste contexto decisório, por vezes bastante complexo e envolvendo um conjunto de critérios – uns de natureza objectiva e outros de natureza subjectiva – que o Método Hierárquico Multicritério (MHM) surge como um meio precioso de sistematização, clarificação de ideias, consensualização de opiniões, minimização da subjectividade – inevitavelmente sempre presente – e apoio à decisão.

Em lugar de se ponderar em simultâneo vários elementos (alternativas, critérios, subcritérios, sub-subcritérios, etc.), o MHM recorre à comparação dois a dois dos elementos segundo uma escala que permite avaliar em que medida um elemento domina outro, na perspectiva de um elemento de nível imediatamente superior. Este processo de escalonamento pode depois ser transformado em graus de prioridade (preferência, satisfação ou utilidade) na comparação de diferentes alternativas de decisão. Este processo de comparação dois a dois não só contribui para minimizar o grau de subjectividade dos julgamentos como ainda permite encontrar um compromisso entre as várias opiniões consideradas.

O MHM desenvolve-se ao longo de várias fases recorrendo ao desenho de hierarquias, cálculo matricial, simulação de Monte-Carlo, análise estatística e análise de sensibilidade. Estes cálculos são sempre em grande número e bastante complexos pelo que o ISQ decidiu muito recentemente empreender o desenvolvimento de uma aplicação informatizada que irá proporcionar ao Gestor da Manutenção o benefício dos resultados do método poupando-lhe a necessidade de dominar as técnicas resolventes e o tempo para a sua manipulação, bastando-lhe o conhecimento dos conceitos envolvidos.

Segue-se um exemplo de aplicação do MHM ao caso de selecção de um equipamento de produção. O caso foi adaptado (e simplificado) a partir de um caso real onde o processo de decisão teve em conta não só os pontos de vista da Produção mas também os da Qualidade e os da Manutenção.

Caso de selecção de um equipamento

Uma empresa do ramo alimentar pretende realizar um investimento de modernização (de racionalização ou de produtividade), que visa substituir uma linha de embalagem – perto da obsolescência – por outra com melhores características técnicas. Em contrapartida, a empresa espera obter a mesma produção com menores custos operacionais e melhor qualidade. Após uma consulta aos fornecedores mais prestigiados neste tipo de equipamentos, a empresa recebeu três propostas (designadas adiante genericamente por P1, P2 e P3) e pretende agora decidir-se por uma delas.

Como base para avaliar as propostas e apoiar uma decisão, a Direcção da empresa promoveu a constituição de um grupo de trabalho para o efeito. Esta comissão de avaliação foi composta por pessoas com responsabilidades de gestão operacional na Produção, na Qualidade e na Manutenção. Ouvidas as preocupações da Direcção quanto ao futuro, o grupo de trabalho resolveu adoptar o Método Hierárquico Multicritério (MHM) para a análise a empreender. O MHM desenvolve-se ao longo de cinco fases:

Fase 1 - Construção de uma hierarquia de elementos relacionados e identificação de alternativas de decisão (fase já realizada);

Fase 2 - Determinação da importância relativa dos critérios e (eventuais) subcritérios;

Fase 3 - Determinação do peso de cada alternativa à luz de cada critério (ou subcritérios);

Fase 4 - Determinação dos indicadores de coerência das comparações dois a dois;

Fase 5 - Determinação do peso (ou classificação) global de cada alternativa.

Vejamos como o grupo de trabalho desenvolveu estas cinco fases.

Fase 1 - Construção de uma hierarquia de elementos relacionados

Após algum tempo e dando continuidade à primeira fase, o grupo de trabalho propôs à Direcção avaliar as propostas à luz de seis critérios, os quais foram prontamente aceites. Estes critérios foram os seguintes:

1. A flexibilidade;
2. A segurança;
3. A precisão;
4. A assistência técnica;
5. A previsibilidade;
6. Os custos.

Vejamos como abordar cada um destes critérios

Critério Flexibilidade

O critério “**flexibilidade**” deve traduzir a maior ou menor dificuldade em preparar a linha para passar da embalagem de um produto (ou de um formato) para qualquer outro. Ao aprofundar esta questão, o grupo apercebeu-se que este critério era demasiado lato e precisava ser desdobrado. Acabou por sê-lo em outros dois: o “tempo de mudança” (ou de *setup*) e o “grau de polivalência”. Este último deve traduzir a possibilidade de encontrar operadores de outras

linhas com qualificações para assumirem rapidamente funções na nova linha em situações inesperadas. Foram depois definidas as métricas. Assim, o critério “tempo de mudança” será medido pelo nº de horas para o fazer e o critério “grau de polivalência” será medido pelo nº de operadores existentes com as qualificações necessárias ou atingíveis a curto prazo.

Quadro 1 – Atributos de cada subcritério do critério Flexibilidade

	Alternativas		
	Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
Flexibilidade			
Tempo de <i>setup</i> (horas)	0,5	0,2	0,1
Grau de polivalência (nº operadores)	4	4	2

Critério Segurança

O critério “segurança” deve traduzir o potencial de falhas de operação da linha que se possam repercutir negativamente na segurança de pessoas e bens. O risco de “insegurança” deve ser medido pela quantidade de causas potenciais e pela classificação dos seus efeitos. No caso em avaliação, o grupo seguiu a norma MIL-STD-882D. Nesta norma, as diferentes categorias de risco foram quantificadas (numa escala de 1 a 20) de acordo com a sua posição numa matriz construída com graus de severidade e probabilidades de ocorrência (ver Quadro 2).

Quadro 2 – Avaliação do risco de acidentes

		Severidade			
		Catastrófico	Crítico	Marginal	Negligenciável
Probabilidades	Frequente	1	3	7	13
	Provável	2	5	9	16
	Ocasional	4	6	11	18
	Remoto	8	10	14	19
	Improvável	12	15	17	20

(Categorias de risco: 1 a 5 – Elevado; 6 a 9 – Sério; 10 a 17 – Médio; 18 a 20 – Baixo)

Da análise efectuada resultou o Quadro 3.

Quadro 3 – Risco apresentado por cada alternativa

Causas	Alternativa P1	Alternativa P2	Alternativa P3
C1	9	11	15
C2	12	-	-
C3	-	15	12
C4	4	9	-
C5	-	16	14
C6	16	-	-
Total	41	51	41

Critério Precisão

O critério “precisão” deve traduzir a maior ou menor variabilidade dos parâmetros obtidos do processo. A precisão pode ser medida pela chamada “capacidade do processo” (cociente entre o intervalo de tolerância e 6 vezes o desvio padrão). Para tal, a empresa possui os resultados dos testes efectuados a seu pedido por cada um dos fabricantes nas estações da linha onde

aqueles parâmetros assumem maior impacto no resultado final. Com base nestes testes foi possível determinar o valor de “capacidade global” para cada uma das linhas propostas.

Da análise efectuada resultou o Quadro 4.

Quadro 4 – Capacidades do processo

Alternativa P1	Alternativa P2	Alternativa P3
2,33	2,33	1,4

Critério Assistência

O critério “assistência técnica” deve traduzir a maior ou menor rapidez e eficiência da intervenção solicitada pela empresa sempre que se verifica uma falha para a qual os meios próprios existentes (meios de diagnóstico e/ou competências) se revelem insuficientes. Este critério será medido com base na comparação dois a dois da percepção (subjectiva) das capacidades de cada um dos fabricantes (*curriculum*, existência de uma declaração escrita, eventual experiência anterior, opiniões de colegas de indústria, etc). O resultado desta avaliação encontra-se mais adiante.

Critério Previsibilidade

O critério “previsibilidade” deve traduzir a maior ou menor probabilidade de uma data prometida (e planeada) não ser cumprida devido a paragens aleatórias (não previstas) com origem no equipamento. Este critério será medido pela indisponibilidade global. Para o seu cálculo, o grupo concordou em seguir os seguintes passos para cada equipamento proposto:

1. Identificar os modos de falha que impliquem um tempo consideravelmente longo de paragem do equipamento;
2. Informar-se junto de cada fabricante (ou dos cadastros próprios referentes a equipamentos semelhantes existentes) sobre quais as funções de probabilidade acumulada (FPA) que melhor representam os modos de falha identificados no passo anterior;
3. Determinar, para cada um daqueles modos de falha que se devam a degradação progressiva, qual deverá ser a periodicidade económica de intervenção preventiva e a correspondente indisponibilidade resultante das intervenções correctivas devidas à eventual ocorrência de falhas entre cada duas intervenções preventivas;
4. Determinar para cada um dos modos aleatórios de falha a indisponibilidade anual prevista;
5. Determinar a disponibilidade global calculando o produto das disponibilidades parciais.

Quanto menor for a indisponibilidade global prevista de cada equipamento com origem em causas aleatórias (não evitáveis) maior será a previsibilidade.

Foram identificados oito modos de falha relevantes – a maior parte comum a qualquer das alternativas. Na posse do conhecimento das FPA e estimados os tempos e os custos de paragem para intervenções correctivas e preventivas, foi possível calcular a periodicidade óptima económica de manutenção preventiva e, conseqüentemente, a indisponibilidade

resultante só das intervenções correctivas para cada modo de falha. No Quadro 5 mostra-se um exemplo de cálculo de um modo de falha por degradação representado por uma distribuição de probabilidade *Weibull* de parâmetros $\alpha = 2$ e $\beta = 300$ horas. Os custos de manutenção preventiva e correctiva foram estimados em, respectivamente, 500 e 3.000 € (mão de obra, materiais e margem de contribuição perdida) e o tempo médio previsto de paragem para manutenção correctiva (MTTR) em 10 horas. Daqui resultou que a periodicidade económica deve ser de 150 horas e que a indisponibilidade resultante só das intervenções correctivas será de 1,58% (se considerássemos o tempo previsto de paragem para manutenção preventiva igual a 10 horas, a indisponibilidade total resultaria igual a 4,24%).

Quadro 5 – Periodicidade económica e indisponibilidade resultantes de um modo de falha por degradação descrito por uma *Weibull* com $\alpha = 2$ e $\beta = 300$ horas

Missão horas	Probabilidades				Custos das políticas		Indisponi- bilidade c)
	p(t)	P(t)	h(t)	Vida média	Preventiva	Correctiva	
					500 €	3.000 €	
0	0	0	0	-	-	-	-
50	0,00108067	0,02739552	0,001111111	25,000	1.152,768	1.128,379	0,55%
100	0,00198853	0,10516068	0,002222222	61,974	794,679	1.128,379	1,08%
150 a)	0,002596	0,22119922	0,003333333	95,037	763,916 b)	1.128,379	1,58%
200	0,00284969	0,35881961	0,004444444	125,706	805,951	1.128,379	2,03%
250	0,00277418	0,50064821	0,005555556	153,835	867,762	1.128,379	2,42%
300	0,00245253	0,63212056	0,006666667	179,035	930,634	1.128,379	2,75%
...
900	2,4682E-06	0,99987659	0,02	265,783	1.128,290	1.128,379	3,62%
950	9,3219E-07	0,99995584	0,021111111	265,836	1.128,347	1.128,379	3,62%
1000	3,3212E-07	0,99998505	0,022222222	265,856	1.128,368	1.128,379	3,62%

a) Peridicidade óptima económica; b) Custo mínimo; c) MTTR = 10 horas.

Uma vez analisados os modos de falha mais comuns (uns preveníveis outros não), o grupo obteve os resultados que se sintetizam no Quadro 6.

Quadro 6 – Indisponibilidades resultantes da manutenção correctiva dos vários modos de falha

Modos de falha	Alternativa P1	Alternativa P2	Alternativa P3
F1	4,90%	3,87%	4,55%
F2	2,37%	2,05%	3,33%
F3	-	2,24%	2,73%
F4	1,40%	1,33%	1,12%
F5	2,72%	-	4,38%
F6	3,18%	2,10%	5,04%
F7	4,44%	2,17%	1,89%
F8	4,05%	3,13%	3,90%
Indisponibilidade geral (I_g)*	20,95%	15,74%	24,02%

* $I_g = 1 - (1 - I_1)x(1 - I_2)x \dots x (1 - I_n)$

Critério Custos

Finalmente, o critério “custos” que deve traduzir o maior ou menor volume de recursos (materiais, humanos e capitais) necessários ao desenvolvimento de todas as actividades que irão permitir o normal funcionamento do equipamento ao longo do seu ciclo de vida em condições adequadas de eficiência operacional. A métrica seleccionada foi obviamente o Euro (€). Tendo em conta o objectivo da análise, foram seleccionados apenas os custos pertinentes, isto é, aqueles que poderão assumir diferentes valores conforme as alternativas. Após alguma reflexão, o grupo concordou em considerar os seguintes:

- O custo do Investimento;
- Os custos da Qualidade (prevenção, controlo, falhas internas e externas);
- Os custos de Operação;
- Os custos da Manutenção (mão de obra, componentes e armazenagem);
- O custo de Desactivação.

Os custos de Investimento referem-se à aquisição do equipamento, à sua montagem no local, às ferramentas especiais, à formação dos operadores e outros.

Os custos da Qualidade referem-se às seguintes actividades:

- Qualidade
 - Prevenção (actividades concebidas para prevenir defeitos durante a fabricação);
 - Controlo (actividades de controlo e auditoria de forma a assegurar a conformidade).
- Não-Qualidade
 - Falha interna (actividades de correcção de defeitos antes do envio para os clientes);
 - Falha externa (actividades de correcção de defeitos reclamados pelos clientes).

Os custos de Operação referem-se essencialmente à quantidade de operadores necessários para operar cada um dos equipamentos alternativos e à sua qualificação.

Os custos da Manutenção referem-se às intervenções de manutenção quer preventiva quer correctiva previstas realizar e contemplam a mão-de-obra interveniente, os materiais usados, a margem de contribuição perdida durante as paragens de manutenção correctiva (custos de oportunidade) e os custos do capital imobilizado com as peças de substituição em armazém (custos de posse). A periodicidade das intervenções de manutenção preventiva de cada modo de falha (de degradação) será a mais económica resultante dos cálculos já descritos atrás a propósito da previsibilidade. Nos casos onde não se possam obter as FPA dos modos de falha, poder-se-ão usar as periodicidades de intervenção preventiva recomendadas pelo fabricante, devendo-se ter em conta, nestes casos, que estes intervalos não correspondem a óptimos económicos para a empresa.

Finalmente os custos da Desactivação referem-se à necessidade de desmontar e eliminar eventuais resíduos do local de acordo com as normas ambientais. No caso em análise, prevê-se a possibilidade de um proveito com a venda do equipamento para o mercado de usados superior aos restantes custos da desmontagem.

Todos estes custos encontram-se descritos no Quadro 7.

Quadro 7 – Custos estimados das três alternativas (a preços de hoje)

	Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
Investimento em equipamento e montagem (€)	1.557.000	1.859.000	1.792.000
Qualidade e não-qualidade (€/ano)	81.500	93.500	88.000
Operação (€/ano)	1.050.000	787.500	875.000
Manutenção (€/ano)	155.000	205.000	101.500
Desactivação (€)	- 155.700	- 185.900	- 179.200

Para o processo de cálculo do custo global, a empresa decidiu usar o método de preços constantes e uma taxa real de rentabilidade mínima diferente conforme as alternativas. O critério seguido foi o de uma taxa base comum e igual a 8%, um prémio de risco financeiro comum e igual a 2% (investimentos semelhantes) e um prémio de risco económico em função da maior ou menor experiência da empresa com as tecnologias envolvidas em cada equipamento alternativo e igual a 1% no caso da alternativa P1 (tecnologia igual à já existente na empresa), 5% no caso da alternativa P2 (tecnologia em grande parte nova) e 3% no caso da alternativa P3. As taxas serão pois 11% no caso da P1, 15% no da P2 e 13% no da P3.

As vidas úteis previstas para cada uma das alternativas são também diferentes. Estas, bem como as taxas mínimas de rentabilidade encontram-se descritas a seguir no Quadro 8.

Quadro 8 – Taxas e vidas úteis estimadas das três alternativas

	Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
Taxa de rentabilidade mínima (%)	11%	15%	13%
Vida útil esperada (anos)	6	8	7

Os custos totais das três alternativas serão então os seguintes (em anuidades, tendo em conta os diferentes períodos estimados de vida útil e o facto de a empresa prever manter a mesma actividade e substituir o equipamento quando este atingir o fim da sua vida útil) [1] e [3]:

$$CT_A = 1.557.000 \times (A/P;11;6) + 81.500 + 1.050.000 + 155.000 - 155.700 \times (A/F;11;6) = 1.634.900 \text{ €/ano}$$

$$CT_B = 1.859.000 \times (A/P;15;8) + 93.500 + 787.500 + 205.000 - 185.900 \times (A/F;15;8) = 1.486.700 \text{ €/ano}$$

$$CT_C = 1.792.000 \times (A/P;13;7) + 88.000 + 875.000 + 101.500 - 179.200 \times (A/F;13;7) = 1.452.500 \text{ €/ano}$$

O Quadro 9 mostra, em resumo, os custos totais de cada alternativa.

Quadro 9 – Custos totais calculados das três alternativas (€/ano)

Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
1.634.900	1.486.700	1.452.500

Uma vez apurados todos os dados, o grupo de trabalho passou ao processo de avaliação propriamente dito, começando por esquematizar a hierarquia de avaliação (ver a Figura 1).

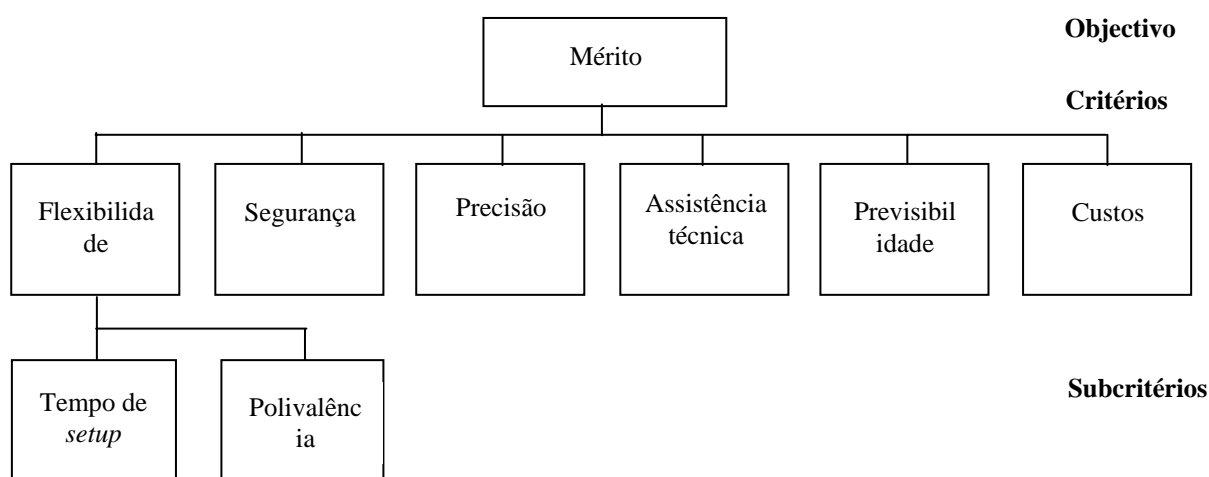


Figura 1 – Hierarquia de critérios de avaliação

Fase 2 - Determinação da importância relativa dos critérios e subcritérios

Para a segunda fase, o MHM usa uma escala de comparação dois a dois dos elementos de uma matriz. Este procedimento oferece a vantagem de minimizar a subjectividade do procedimento alternativo que consistiria em atribuir mentalmente a cada elemento um valor numa escala qualquer (de 0 a 10, de 1 a 20, etc.). Esta comparação dois a dois faz-se com o apoio de uma escala proposta por *Saaty* [5] e descrita no Quadro 10.

Quadro 10 – Escala de preferências para comparação dois a dois

	Peso a atribuir
. Se x é tão importante (preferível) como y, então ...	1
. Se x é pouco mais importante (preferível) do que y, então ...	3
. Se x é mais importante (preferível) do que y, então ...	5
. Se x é muito mais importante (preferível) do que y, então ...	7
. Se x é muitíssimo mais importante (preferível) do que y, então ...	9

A magnitude da resposta indica o grau de preferência de um elemento da decisão em relação a outro. Os números pares 2, 4, 6 e 8 são usados na representação de compromissos. As comparações inversas, ou seja y em relação a x, são estabelecidas através dos recíprocos da escala de preferências.

Da comparação dois a dois dos vários critérios de acordo com aquela escala de preferências, resultaram as seguintes duas matrizes:

	Flexibilidade	Segurança	Precisão	Assistência	Previsibilidade	Custos
Flexibilidade	1		3	5		
Segurança	2	1	4	3		
Precisão			1	3		
Assistência				1		
Previsibilidade	1	3	2	5	1	
Custos	3	5	5	7	3	1

Segundo a **Flexibilidade**

	Tempo <i>setup</i>	Polivalência
Tempo <i>setup</i>	1	
Polivalência	5	1

As quais, depois de normalizadas, permitiram o apuramento das importâncias relativas:

Flexibilidade	0,150487
Segurança	0,149383
Precisão	0,072108
Assistência	0,036803
Previsibilidade	0,18094
Custos	0,410279
	1,000000

Para um rácio de coerência aceitável e igual a 0,082569.

Tempo <i>setup</i>	0,166667
Polivalência	0,833333
	1,000000

Para um rácio de coerência perfeita (igual a 0,000000).

Fase 3 e 4 - Determinação do peso de cada alternativa à luz de cada critério e dos indicadores de coerência das comparações dois a dois

Para passarmos ao cálculo das importâncias (ou dos pesos) de cada alternativa à luz de cada critério falta-nos determinar os pesos do critério “Assistência”. Como este critério é qualitativo, as três alternativas devem ser analisadas recorrendo a uma matriz de comparação dois a dois, de forma a minimizar a subjectividade inerente. As preferências manifestadas pelos membros do grupo de trabalho recorrendo à escala do Quadro 10 podem ver-se na matriz a seguir.

	Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
Proposta P1	1		3
Proposta P2	2	1	4
Proposta P3			1

Esta matriz, depois de normalizada, forneceu os seguintes resultados (com um rácio de coerência aceitável e igual a 0,015797):

Proposta P1	0,320238
Proposta P2	0,557143
Proposta P3	0,122619
	1,000000

As importâncias (ou os pesos) de cada alternativa à luz de cada critério são calculados normalizando os correspondentes atributos e tendo em conta se estes são do tipo “quanto maior melhor” ou “quanto menor melhor”. Obter-se-ão assim os resultados descritos no Quadro 11.

Quadro 11 – Pesos das várias alternativas à luz de cada critério depois da normalização dos atributos

	Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
Flexibilidade			
Tempo de <i>setup</i> (horas)	0,117647059	0,294117647	0,588235294
Grau de polivalência (nº operadores)	0,4	0,4	0,2
Segurança			
Precisão	0,356643357	0,286713287	0,356643357
Assistência	0,320238	0,557143	0,122619
Previsibilidade	0,312188431	0,415523991	0,272287578
Custos			
	0,309423601	0,342123585	0,348452814

Fase 5 – Determinação do peso (ou classificação) global de cada alternativa

Podemos agora representar novamente a hierarquia de avaliação e figurar sobre ela todos os pesos determinados atrás (ver Figura 2).

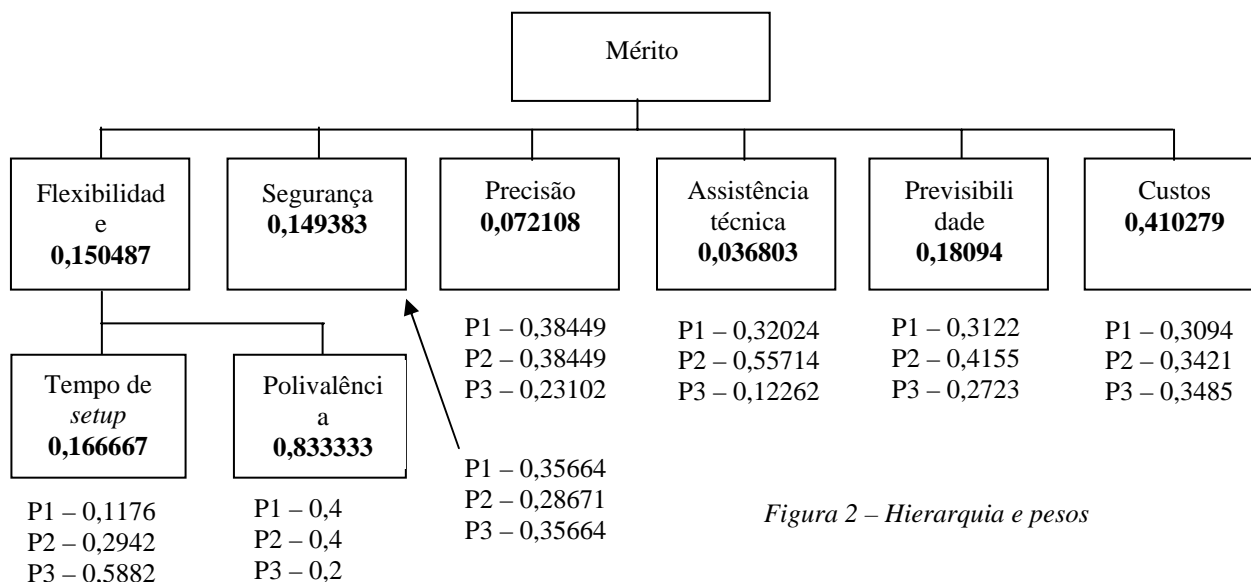


Figura 2 – Hierarquia e pesos

Resolvendo a hierarquia no sentido ascendente, obtem-se finalmente o mérito final de cada equipamento alternativo M_i . Assim, por exemplo, para o equipamento P1, temos:

$$M_{P1} = 0,150487 \times (0,166667 \times 0,1176 + 0,833333 \times 0,4) + 0,149383 \times 0,35664 + 0,072108 \times 0,38449 + 0,036803 \times 0,32024 + 0,18094 \times 0,3122 + 0,410279 \times 0,3094 = 0,32934$$

Procedendo de igual forma com os restantes dois equipamentos, obtem-se, finalmente:

Quadro 12 – Mérito global de cada alternativa

Proposta P1	Proposta P2	Proposta P3
0,32934	0,36415	0,30651

Notar neste Quadro que os resultados continuam normalizados, isto é, a sua soma é igual à unidade. Estes mesmos resultados encontram-se representados graficamente na Figura 3.

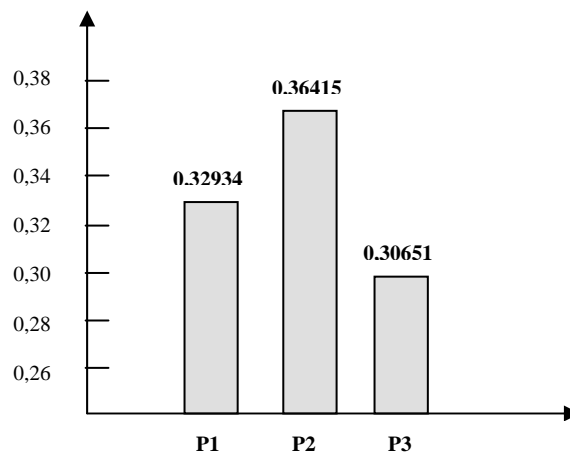


Figura 3 – Mérito global de cada alternativa

A ordem decrescente de mérito dos três equipamentos alternativos será, então: **P2, P1 e P3**. Como as alternativas são mutuamente exclusivas, deve-se seleccionar a melhor alternativa, isto é, a alternativa **P2**. Esta alternativa é cerca de $(0,36415 - 0,32934) / 0,32934 \cong 11\%$ melhor do que a P1 e cerca de $(0,36415 - 0,30651) / 0,30651 \cong 19\%$ do que a P3.

O grupo encontrou assim a melhor proposta, isto é, aquela que oferece o melhor compromisso entre todos os critérios que considerou importante levar em conta.

Conclusão

Este caso permitiu ilustrar como, em ambientes decisórios muito complexos, é possível integrar na análise critérios de avaliação de diferentes naturezas para além da sempre necessária viabilidade económica. O método empregue – o MHM – torna possível harmonizar no cálculo as diferentes unidades de medida dos descritores das várias alternativas à luz de cada critério e obter as pontuações globais de mérito destas. O MHM oferece a possibilidade de minimizar a subjectividade sempre presente em contextos decisórios complexos em geral e na selecção de equipamentos em particular. O MHM consegue integrar na análise critérios de fiabilidade e de disponibilidade, hoje em dia decisivos na eficiência operacional de qualquer equipamento de

produção e, mesmo, na estratégia de qualquer negócio na medida em que influenciam diretamente os custos e o grau de cumprimento de datas prometidas a clientes.

A metodologia aqui apresentada estará disponível em breve sob a forma de *software*. Esta aplicação irá permitir a construção de hierarquias mais complexas, comportar tantos níveis de critérios quanto os desejados de forma a aumentar o grau de detalhe da análise, realizar análises de sensibilidade e, ainda, ter em conta os julgamentos de diferentes pessoas. A aplicação irá proporcionar aos Gestores de Manutenção o rigor de um método científico de apoio à decisão sem que se torne necessário que dominem as técnicas resolventes bastando àqueles a compreensão dos conceitos envolvidos e seguir as instruções de um guia de apoio.

Bibliografia relacionada

- [1] - ASSIS, Rui e Mário Figueira, - MICROINVEST, *Projectos de Investimento - Avaliação e Planeamento*, Lisboa, IAPMEI, 1994
- [2] - ASSIS, Rui, - *Manutenção Centrada na Fiabilidade – Economia das Decisões*, Lisboa, LIDEL, 1997
- [3] - CANADA, John R., William Sullivan, John A. White, *Capital Investment Analysis for Engineering and Management*, Prentice Hall, Inc., New Jersey 1996
- [4] - IRESON, W. Grant e Clyde F. Coobs, Jr., *Handbook of Reliability Engineering and Management*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1995
- [5] - SAATY, Thomas L., *Decision Making for Leaders*, AHP Series, 1996