

Análise Multicritério do Desempenho de Equipamentos

Rui Assis
Engenheiro Mecânico IST
rassis@netcabo.pt

Comunicação no 4º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica da
Ordem dos Engenheiros / Lisboa, Junho 05

Resumo

Mostra-se como controlar a performance de gestão de um qualquer equipamento segundo uma hierarquia de vinte e quatro objectivos constituída a um primeiro nível pelos grandes objectivos: melhorar permanentemente a disponibilidade, a previsibilidade, a segurança e a eficiência. Cada um destes objectivos é descrito quantitativamente por uma métrica, a qual, por sua vez, é transformada numa escala de mérito. O método combina a análise multicritério (Saaty [1]) e as curvas métrica-mérito (Sink [2]). O equipamento recebe no fim de cada período de controlo uma pontuação de mérito global numa escala fixada arbitrariamente (tipicamente entre 0 e 10). O topo da escala de cada métrica é ajustado progressivamente ao longo do tempo em resultado do bench-marking realizado e negociado com o responsável da Manutenção. Este procedimento permite influenciar os comportamentos do pessoal da Manutenção no sentido de uma gestão por objectivos operacionais alinhados com a estratégia da empresa, pois os fundamentos do método regem-se pelo Balanced ScoreCard. (Kaplan [3]). Descreve-se um caso de aplicação da metodologia com o recurso a uma ferramenta informatizada desenvolvida no âmbito de um projecto mobilizador da AdI designado SITEM* envolvendo a ALSTOM, a CPPE, a PORTUCEL, a Celbi, a FEUP e o ISQ.

1. Introdução

Há muito que se tornou corrente no mundo empresarial e nos serviços públicos a medição da sua performance (ou desempenho) numa base periódica. A medição da performance faz-se tradicionalmente através de indicadores (ou métricas) de natureza financeira, os quais são coligidos e disponibilizados aos responsáveis das várias áreas operacionais, tipicamente, no fim de cada mês. A forma pela qual estes indicadores são apresentados denomina-se frequentemente *tableaux de bord* por analogia com o painel de controlo de um equipamento complexo.

A evolução temporal de um qualquer indicador fornece uma ideia de como determinada dimensão da performance se está comportando – se no sentido crescente, decrescente, ou se se encontra estabilizada. Por outro lado, quando normalizado, um indicador de performance de uma determinada área de negócio numa empresa pode ser comparado entre os parceiros de indústria. O melhor valor do indicador entre os parceiros passa a constituir uma referência e os parceiros tentam alcançá-lo. Esta prática é conhecida por *benchmarking* e é hoje generalizada, decorrendo de um dos princípios da gestão pela qualidade total: procura permanente das melhores práticas.

Nas duas últimas décadas, verificou-se a preocupação em integrar indicadores de natureza operacional nos sistemas de controlo de gestão. Com efeito, os indicadores de natureza financeira retratam a ponta final de uma situação que começa por se manifestar em termos operacionais. Quando as consequências financeiras são conhecidas, é já demasiado tarde para se decidirem medidas correctivas. Tendo também em conta que um sistema de controlo de gestão deve constituir uma ferramenta que permita alinhar toda a organização pelos mesmos objectivos estratégicos, fácil será de concluir que aquele deve proporcionar informação pormenorizada e atempada a todos os intervenientes dos processos de negócio. Só assim se poderá influenciar os comportamentos dos gestores no sentido pretendido pela alta direcção e responsabilizá-los pelos resultados.

2. O Balanced ScoreCard

Nos anos 90 do século passado, surgiu um novo método de medição da performance da gestão: o *Balanced Score Card* (BSC), proposta por Kaplan e Norton [3], a qual veio sistematizar uma visão integrada operacional e financeira no controlo de gestão, coerente com os objectivos estratégicos da organização em cada momento. O BSC apresenta-se sob a forma de quatro dimensões sequenciais na perspectiva causa-efeito. São elas:

- Desenvolvimento organizacional;
- Processos internos;
- Clientes;
- Financeira.

A Figura 1 na próxima página resume estas quatro dimensões.



Figura 1 – As quatro dimensões do Balance ScoreCard

Do último efeito para as sucessivas causas, teremos:

Dimensão Financeira

O BSC, analisa a dimensão financeira do desempenho, porque as medidas financeiras são essenciais para evidenciar as consequências económicas da estratégia implementada, nomeadamente se se está a contribuir para o aumento dos resultados. Os objectivos financeiros, costumam relacionar-se com a rentabilidade, medida, por exemplo, pelos proveitos de exploração, pelo rendimento do capital investido ROI (*Return On Investment*) ou pelo EVA (*Economic Value Added*). Outros objectivos económicos, podem ser a rentabilidade das vendas ou o crescimento do *cash-flow*.

Dimensão dos Clientes

O BSC, analisa a dimensão dos clientes no desempenho, porque as medidas de satisfação dos clientes são essenciais para evidenciar as consequências da estratégia implementada, nomeadamente se está a contribuir para a sustentação (fidelização) da base de clientes ou mesmo a alargar esta. Essas medidas incluem o grau de satisfação (proporcional ao valor acrescentado percebido pelo cliente), a taxa de retenção, a taxa de aquisição de novos clientes, a rentabilidade dos clientes e as quotas de mercado nos vários segmentos. Esta perspectiva permite melhor articular as operações com a estratégia mais adequada para cada segmento.

Dimensão dos Processos Internos

O BSC, analisa a dimensão dos processos internos críticos (aqueles em que a organização deve ser excelente), porque são estes que, dando origem a produtos ou serviços, contribuem em última instância para satisfazer os accionistas, clientes, fornecedores, colaboradores e a sociedade em que a organização se integra.

A sequência de actividades de negócio, compreende 3 sub-cadeias:

1. Projecto e especificação, com as actividades de: I&D; *design*; gestão da qualidade; engenharia de operações;
2. Adição de valor, com as actividades de: compras; logística de entrada; produção e logística de saída;
3. Serviço, com as actividades de: instalação; suporte e manutenção da satisfação do cliente;

Dimensão de Desenvolvimento Organizacional (aprender, inovar e crescer)

O BSC, analisa a dimensão da aprendizagem inovação e crescimento no desempenho, porque a empresa deve construir um processo de melhoria e crescimento a longo prazo, identificando os factores de sucesso para o presente e futuro. Os recursos necessários para conseguir estes objectivos são: as pessoas; os sistemas e os procedimentos. A organização deve encontrar um conjunto de indicadores que traduzam o resultado do seu investimento nestes três recursos.

3 Desempenho dos equipamentos

Vários autores têm apresentado sugestões sobre os chamados KPI (*Key Performance Indicators*) aplicáveis em Manutenção [4], [5], [6]. Um dos indicadores mais popularizado é o que determina a eficiência operacional de um equipamento:

$$EOE = D.P.Q$$

EOE – eficiência operacional ou *OEE* (*Overall Equipment Efficiency*);

D – disponibilidade, ou seja, a percentagem do tempo em que um equipamento se encontra realmente disponível para produzir;

P – performance (ou rendimento), ou seja, a percentagem da capacidade de produção nominal (ou ideal) que um equipamento é capaz de realizar;

Q – qualidade, ou seja, a percentagem de produtos “bons” de todos os produtos produzidos.

Os valores de *D*, *P*, *Q* devem ser coligidos e consolidados no *EOE* periodicamente (semanal, mensal, trimestral, etc.) e a sua evolução monitorizada.

As causas de valores baixos daqueles indicadores devem-se sobretudo:

- No caso da disponibilidade: falhas/avarias, mudanças de produto (*changeover*), afinações e absentismo;
- No caso da performance: micro-paragens, velocidade reduzida e a aguardar trabalho de montante ou material de armazéns;
- No caso da qualidade: erros de processo, rejeições (*scrap*) e recuperações (*rework*).

Esta forma de análise é limitada pois não tem em conta algumas outras dimensões de natureza operacional e estratégica, igualmente importantes. Surgiu assim a ideia de seleccionar um conjunto de indicadores suficientemente abrangente e universal. Para cada equipamento concreto, escolher-se-ão os indicadores que se considerem mais ajustados ao longo do tempo à sua missão particular.

Este assunto passou também para normas como, por exemplo, as francesas AFNOR X 60-020, X 50-126 e X 60-015. O CETIM (*Centre Techniques des Industries Mécaniques*), publicou um caderno [7] onde são descritos alguns indicadores classificados em três famílias:

1. Indicadores de actividade, os quais cobrem 1) a frequência periódica de intervenções, 2) o rácio horas de manutenção curativa sobre horas de manutenção total e 3) o rácio manutenção preventiva sobre horas de manutenção total;
2. Indicadores de eficácia, os quais cobrem 1) a reactividade, 2) a fiabilidade (MTBF), 3) a competência (MTTR), 4) a disponibilidade e 5) a indisponibilidade;
3. Indicadores financeiros, os quais cobrem 1) os custos de manutenção por equipamento, 2) os custos da subcontratação e 3) a relação entre os custos da manutenção e a facturação.

Para integrar os níveis operacional e estratégico nos objectivos de um serviço de manutenção de uma empresa, ocorreu-nos naturalmente recorrer ao BSC. Esta metodologia foi tratada por alguns autores [8], [9], ficando-se pelas generalidades, embora [8] forneça pistas: “*While Maintenance Scorecard is best applied from an organizational standpoint, it can also be applied at a department level, a project specific level or an equipment specific level*”. Com efeito, o BSC focado em cada equipamento, permite ter em conta os seus aspectos particulares. O conjunto dos equipamentos geridos desta forma, contribuirá, por sua vez, para a performance do centro de responsabilidade Manutenção no interior da organização.

Depois de alguma reflexão sobre como enquadrar os vários objectivos de performance de um equipamento nas quatro dimensões do BSC, considerámos que a estrutura mostrada na Figura 2 seria a mais adequada.

Chegámos depois à conclusão de que a análise de performance a realizar a cada equipamento deveria parar nos processos internos, já que as dimensões cliente e financeira serão alvo de uma contribuição indirecta do seu bom estado, não devendo caber aos gestores operacionais outras responsabilidades.

Perspectiva financeira

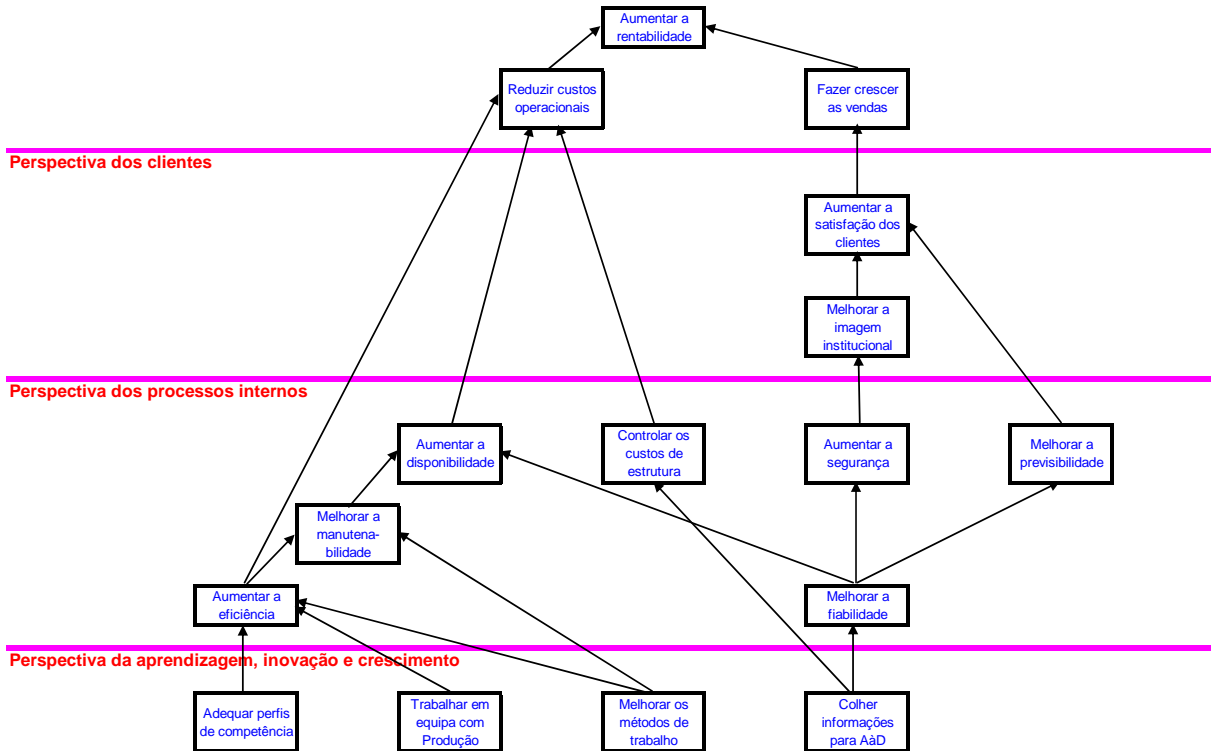


Figura 2 – Estrutura de relações causa-efeito de acordo com as quatro dimensões do BSC

4. Estrutura de Objectivos

Concluimos assim, que o gestor operacional responsável pelo estado de um qualquer equipamento deve reger-se pelos seguintes quatro grandes objectivos:

1. Melhorar a disponibilidade operacional;
 2. Melhorar a previsibilidade;
 3. Melhorar a segurança;
 4. Melhorar a eficiência.
- A disponibilidade operacional traduz a preocupação de se dispor do equipamento em boas condições de funcionamento sempre que dele houver necessidade;
 - A previsibilidade traduz a preocupação da empresa cumprir o prometido aos seus clientes (o que foi determinado pelo planeamento, ou seja, fazer com que a realidade reproduza o mais fielmente possível o planeado em cada equipamento);
 - A segurança traduz a preocupação de a empresa cumprir com as normas (legais ou auto-impostas) referentes a acidentes de trabalho e a agressões ao ambiente possíveis de ser originadas em cada equipamento;
 - A eficiência traduz a preocupação de cada equipamento desempenhar as suas diversas funções usando um mínimo de recursos.

Estes quatro grandes objectivos – ou objectivos de primeiro nível – podem depois ser desdobrados em vários outros objectivos – objectivos de segundo nível, terceiro, quarto etc. E assim aconteceu: após reflexão, concluimos dever desdobrá-los do modo que descrevemos mais adiante. Estes objectivos passarão a compor a estrutura de avaliação do desempenho de cada equipamento.

4.1 Melhorar a disponibilidade operacional

A disponibilidade é medida pelo quociente entre o tempo útil e o tempo total (tempo útil + tempo parado em manutenção). Logo, o aumento daquela pode ser alcançado – a um segundo nível –, quer diminuindo a frequência de falhas que provocam paragens (melhorando a sua fiabilidade), quer diminuindo os tempos de imobilização com as intervenções (melhorando a manutenibilidade do equipamento, a qualidade dos recursos e da organização da manutenção ou a quantidade destes recursos).

1. Melhorar a disponibilidade operacional
 - 1.1 Diminuir a frequência de falhas:
 - 1.1.1 devida a erros dos operadores;
 - 1.1.2 devida a erros dos técnicos de manutenção;
 - 1.1.3 devida a outras causas.
 - 1.2 Diminuir o tempo de intervenção nos equipamentos
 - 1.2.1 Diminuir repetições:
 - 1.2.1.1 devidas a diagnóstico errado;
 - 1.2.1.2 devidas a má execução.
 - 1.2.2 Diminuir o tempo de reacção
 - 1.2.3 Diminuir o tempo de suspensão administrativa e logística
 - 4.4.2 Melhorar os métodos de trabalho
 - 4.4.3 Diminuir o conteúdo da manutenção

Notar que os objectivos de terceiro nível 4.4.2 e 4.4.3, foram repetidos neste objectivo (1) de primeiro nível, pois também contribuem para este. Com efeito, muitas vezes uma mesma causa pode dar origem a mais do que um efeito.

4.2 Melhorar a previsibilidade

As empresas diferenciam-se cada vez mais pela qualidade do serviço prestado aos seus clientes do que pelo preço ou pela qualidade dos seus produtos. Estes dois últimos factores tendem a uniformizar-se, restando aquele factor diferenciador. Uma das dimensões da qualidade do serviço prestado é o grau de cumprimento com os compromissos de entrega assumidos. Este grau depende em grande parte da confiabilidade nos equipamentos e na qualidade das intervenções dos técnicos de manutenção.

2. Melhorar a previsibilidade
 - 1.1 Diminuir a frequência de falhas
 - 1.2.1 Diminuir as repetições:
 - 2.1 Diminuir os desvios
 - 4.4.2 Melhorar os métodos de trabalho
 - 4.4.4 Diminuir a variabilidade dos tempos de intervenção

Notar que os objectivos de segundo nível 1.1, de terceiro nível 1.2.1 (bem como os correspondentes 1.2.1.1 e 1.2.1.2 de quarto nível) do objectivo (1) e, ainda os objectivos de terceiro nível 4.4.2 e 4.4.4, foram repetidos neste objectivo (2) de primeiro nível, pois também contribuem para este.

4.3 Melhorar a segurança

A segurança com as pessoas e o ambiente passou a ser uma preocupação constante nas empresas não só por razões éticas e económicas, como constitui também uma dimensão importante da imagem e da aceitação da empresa na comunidade onde se insere. Esta dimensão, em última instância, reflecte-se directa ou indirectamente nas vendas. Assim, cada equipamento deverá funcionar dentro de condições rigorosas de operação de forma a cumprir com todas as normas de segurança estabelecidas – oficiais e auto impostas.

3. Melhorar a segurança
 - 3.1 Diminuir acidentes de trabalho:
 - 3.1.1 em frequência;
 - 3.1.2 em gravidade.
 - 3.2 Reduzir os impactos ambientais

4.4 Melhorar a eficiência

Por último, cada equipamento deverá cumprir as suas várias funções dentro de princípios de racionalidade económica, o mesmo é dizer, dentro da maior economia de meios.

4. Melhorar a eficiência:

- 4.1 energética;
- 4.2 da gestão dos *stocks*
 - 4.2.1 Aumentar a rotação
 - 4.2.2 Eliminar os monos
 - 4.2.3 Diminuir as roturas
- 4.3 da qualidade;
- 4.4 operacional;
 - 4.4.1 Diminuir o trabalho extraordinário
 - 4.4.2 Melhorar os métodos de trabalho
 - 4.4.3 Diminuir o conteúdo da manutenção
 - 4.4.4 Diminuir a variabilidade dos tempos de intervenção
- 4.5 do planeamento;
 - 4.5.1 Adequar a proporção correctiva-preventiva
 - 4.5.2 Diminuir o trabalho urgente (não programado)
 - 2.1 Diminuir os desvios
 - 4.5.3 Aumentar as tarefas planeadas
- 4.6 da capacidade instalada.

Notar que o objectivo de segundo nível 2.1, foi repetido neste objectivo de primeiro nível, pois também contribui para este.

De notar que, com a excepção do objectivo 4.5.1, nenhum custo figura como indicador de performance, já que entendemos que estes não são mais do que a tradução em termos económicos da quantidade de recursos alocados (ou da intensidade de utilização daqueles que existem) e pagos para que consigamos atingir todos os objectivos descritos na estrutura – ou seja, existe sempre uma causa operacional mensurável (não em €) por detrás de cada custo.

5. Métricas do desempenho de um equipamento

Tendo em conta o princípio de que “não se pode gerir aquilo que não se pode medir”, torna-se fundamental definir uma métrica (ou descritor) para cada objectivo – ou indicador de mérito. Passamos a descrever as métricas que nos pareceram mais adequadas. Contudo, como o método foi transformado em *software* de modo a possibilitar um diálogo fácil com o utilizador e o cálculo rápido dos resultados, admitimos a possibilidade das métricas puderem ser alteradas em função dos casos concretos – a facilidade de medição e as preferências pessoais pesarão com certeza na escolha. Só a estrutura dos vinte e quatro objectivos se mantém inalterável já que, em nosso entender, constitui a melhor forma de alinhar os objectivos operacionais de cada equipamento com a estratégia da empresa.

As métricas por nós sugeridas referem-se a um único equipamento. O Quadro 2 no fim deste documento mostra uma lista das vinte e quatro métricas criadas. De preferência estas serão calculadas por um rácio. Os seus valores serão apurados periodicamente e uma média móvel (simples ou ponderada) dos últimos n períodos pode ser calculada de modo a alisar a sua evolução e evidenciar uma eventual tendência.

Descrevem-se seguidamente sete dos vinte e quatro objectivos, respectivas métricas, sua justificação e exemplos de construção.

Objectivo:

- 1.1.1 – Diminuir a frequência de falhas devidas a erros dos operadores;
- 1.1.2 – Diminuir a frequência de falhas devidas a erros dos técnicos de manutenção;
- 1.1.3 – Diminuir a frequência de falhas devidas a outras causas.

Métrica:

- 1) Falhas/período ou 2) MTTF

Justificação:

Cada uma destas métricas é inversa da outra. Quanto menor for a frequência de falhas, menor será o tempo perdido com máquina parada e, logo, maior a sua disponibilidade.

Exemplo:

Em determinado mês, verificaram-se 3 falhas em 600 horas de máquina disponível, logo, o indicador resulta igual a $3/600 = 0,005$ falhas/hora ou $600/3 = 200$ horas (entre cada duas falhas). Se adoptarmos uma média móvel simples de 3 meses, tendo-se verificado nos meses: n-3 – 0,003 falhas/hora, n-2 – 0,004 falhas/hora e n-1 – 0,005 falhas/hora, o indicador resulta igual a $(0,003 + 0,004 + 0,005) / 3 = 0,004$ falhas/hora ou $1/0,004 = 250$ horas (entre cada duas falhas). Simultaneamente, apercebemo-nos de uma tendência crescente desta métrica; o que deve desencadear a tomada de medidas correctivas.

Objectivo:

1.2.1.1 – Diminuir as repetições devidas a diagnóstico errado;

1.2.1.2 – Diminuir as repetições devidas a má execução.

Métrica:

1.2.1.1 – Horas-homem devidas a diagnóstico errado / Total de horas-homem;

1.2.1.2 – Horas-homem devidas a má execução / Total de horas-homem.

Justificação:

Estes dois indicadores exprimem uma relação entre o tempo dispendido num determinado período em manutenção com algo indevido e o tempo total dispendido com manutenção nesse mesmo período. Estes tempos de desperdício são os relacionados com diagnóstico errado ou execução errada ou insuficiente. Quanto menor for o valor da métrica tanto melhor, sendo 0 o valor ideal. O isolamento destas duas causas são muito importantes pois indiciam falta de competências por parte do pessoal da manutenção.

Exemplo:

Em determinado mês, verificaram-se 10 h.h. num trabalho feito segunda vez, enquanto o tempo total de intervenção na máquina no mesmo período foi de 100 horas. Logo, o indicador resulta igual a $10/100 = 0,1$. Se adoptarmos uma média móvel simples de 3 meses, tendo-se verificado nos meses: n-3 – 0,03 falhas/hora, n-2 – 0,04 falhas/hora e n-1 – 0,05 falhas/hora, o indicador resulta igual a $(0,03 + 0,04 + 0,05) / 3 = 0,04$. Simultaneamente, apercebemo-nos de uma tendência crescente desta métrica; o que deve desencadear a tomada de medidas correctivas.

Objectivo:

2.1 – Diminuir os desvios

Métrica:

Desvios absolutos de tempo (em h.h.) / Tempo previsto (em h.h.)

Justificação:

Quanto menor for o valor da métrica tanto melhor, sendo 0 o valor ideal. O isolamento desta causa é importante pois indicia uma inadequação dos tempos *standard* ou uma inadequação dos métodos de trabalho utilizados por parte dos técnicos de manutenção.

Exemplo:

Em determinado mês, os trabalhos mandados executar foram 3: um previa 5 horas e foi realizado em 6 horas; outro previa 20 horas e foi realizado em 22 horas; outro previa 10 horas e foi realizado em 8 horas. Resultado do indicador: $|6 - 5| + |22 - 20| + |8 - 10| / (5 + 20 + 10) = 5/35 = 0,143$

Objectivo:

3.2 – Reduzir os impactos ambientais

Métrica:

Desvios observados dos limites aceitáveis / Valores limites das normas legais ou auto-impostas

Justificação:

Quanto menor for o valor da métrica tanto melhor, sendo 0 o valor ideal. O isolamento desta causa é importante pois indicia uma inadequação dos procedimentos tendentes a conter os teores de contaminação (técnicos e/ou organizacionais).

Exemplo:

Um efluente gasoso (EG) não deve ultrapassar o limite de 20 p.p.m. de um contaminante e um efluente líquido (EL) não deve ultrapassar o limite de 1 mg/m³ de outro contaminante. Os seus níveis foram monitorizados no último mês com a seguinte frequência: EG – 150 vezes e EL – 200 vezes. A frequência com que se verificou a violação dos limites foi a seguinte: EG – 30 vezes e EL – 10 vezes. Importância (peso) atribuído a cada uma das normas: EG – 0,4 e EL – 0,6. Resultado do indicador no mês: $0,4 \times 30/150 + 0,6 \times 10/200 = 0,11$

Objectivo:

4.2.1 – Aumentar a rotação dos *stocks* de peças de substituição

Métrica:

Nº de unidades requisitadas (quaisquer referências) / Nº médio de unidades existentes em *stock* (todas as referências)

Justificação:

Este indicador exprime o ritmo a que o *stock* de peças de substituição é renovado, o qual interessa que seja alto. Isto consegue-se mantendo as existências no armazém da manutenção a um nível baixo. Contudo, ao fazê-lo corremos o risco de entrar mais frequentemente em rotura. Logo, este objectivo tem de ser gerido por compromisso com o objectivo 4.2.3. O isolamento desta causa é importante pois pode indiciar a inadequação dos parâmetros usados na gestão dos *stocks*.

Exemplo:

Em determinado mês, foram requisitadas 90 peças de substituição (várias referências). O nº de unidades existentes em *stock* no início deste mês era de 2.400 e no fim era 2.600 (entraram 290 e saíram 90 unidades). O *stock* médio era então $(2.400 + 2.600) / 2 = 2.500$ unidades. Logo, o indicador resulta igual a $90 / 2.500 \times 100 = 3,6\%$. Se adoptarmos uma média móvel simples de 3 meses, tendo-se verificado nos meses: n-3 – 3,6%, n-2 – 3,8% e n-1 – 4,0%, o indicador resulta igual a $(3,6 + 3,8 + 4,0) / 3 = 3,8\%$. Simultaneamente, apercebemo-nos de uma tendência crescente desta métrica; o que deve estimular os responsáveis no prosseguimento do esforço tendente à sua maximização.

Objectivo:

4.3 – Melhorar a eficiência da qualidade

Métrica:

Quantidade de rejeições (*scrap* e *rework*) / Quantidade processada

Justificação:

As rejeições de produtos podem dever-se a diversas causas com origem na produção, nos fornecedores da matéria-prima ou na manutenção. Este indicador evidencia os volumes de produção rejeitada (para sucata e recuperada) devidos somente ao deficiente estado de manutenção do equipamento. O isolamento desta causa é importante pois pode indiciar cuidados insuficientes ou deficientes de manutenção.

Exemplo:

Em determinado mês, as folhas de produção de uma máquina registaram 300 unidades rejeitadas (sucata e recuperações) em 15.000 unidades produzidas. Logo, o indicador resulta igual a $300 / 15.000 \times 100 = 2\%$. Se adoptarmos uma média móvel simples de 3 meses, tendo-se verificado nos meses: n-3 – 2,2%, n-2 – 2,6% e n-1 – 3,2%, o indicador resulta igual a $(2,4 + 2,8 + 3,4) / 3 = 2,8\%$. Simultaneamente, apercebemo-nos de uma tendência crescente desta métrica; o que deve desencadear a tomada de medidas correctivas.

Objectivo:

4.4.1 – Diminuir o trabalho extraordinário

Métrica:

h.h. extra trabalhadas / h.h. totais trabalhadas

Justificação:

O trabalho de manutenção deve ser planeado e levado a cabo por uma equipa qualificada e devidamente dimensionada. Se um destes requisitos não é observado, o trabalho urgente surge e o recurso a horas extraordinárias torna-se necessário. O isolamento desta causa é importante pois pode evidenciar a falha de um ou mais daqueles requisitos.

Exemplo:

Em determinado mês, as folhas de produção de uma máquina registaram 18 horas extraordinárias num total de 180 horas trabalhadas. Logo, o indicador resulta igual a $18 / 180 \times 100 = 10\%$. Se adoptarmos uma média móvel simples de 3 meses, tendo-se verificado nos meses: n-3 – 8,2%, n-2 – 9,0% e n-1 – 9,8%, o indicador resulta igual a $(8,2 + 9,0 + 9,8) / 3 = 9,0\%$. Simultaneamente, apercebemo-nos de uma tendência crescente desta métrica; o que deve desencadear a tomada de medidas correctivas.

6. Variação métrica-mérito

Tendo em conta que um sistema de controlo de gestão (SCG) deve conseguir influenciar o comportamento dos gestores, se quisermos ser eficazes, aquele deve cumprir dois requisitos essenciais: 1) ser esclarecedor (sabemos onde estamos e para onde vamos), 2) motivador (temos empenho em chegar mais longe). Com este objectivo presente, depreendemos que a forma como o mérito de cada objectivo varia com a sua métrica pode ser modulada de acordo com uma função que traduza o sentir do responsável pela performance de cada equipamento. Scott Sink desenvolveu esta ideia [2].

Cada uma destas funções pode ser representada num gráfico em que as abcissas são construídas com os valores possíveis assumir pela métrica e as ordenadas são expressas numa escala de 0 a 10 (ou qualquer outra) representando o mérito. O valor 0 representa o nível mínimo que alguma vez poderá ser atingido e o valor 10 o nível máximo possível atingir a curto prazo (conhecido o melhor valor praticado entre os parceiros de indústria).

A Figura 3 ilustra o caso de uma função na qual o mérito é descrito por uma polinomial de terceiro grau com dois pontos de inflexão. Nesta figura, o mérito apresenta, de uma forma geral, proporcionalidade directa com a métrica – começa por crescer desacelerando com o aumento da métrica, moderadamente depois e acelerando no final. Esta evolução traduz a convicção de que exige muito esforço iniciar a melhoria deste indicador (resistência à mudança), podendo depois evoluir moderadamente e exigir progressivamente maior esforço conforme o seu valor tende para o limite máximo (a fasquia).

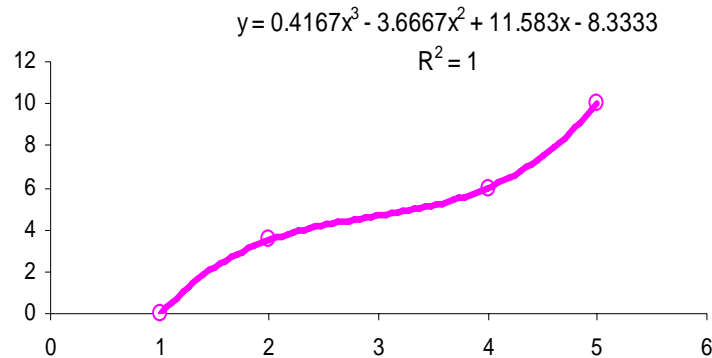


Figura 3 – Relação métrica - mérito crescente, representada por uma função polinomial de 3º grau

A Figura 4 ilustra outra situação. Esta função, também de terceiro grau, traduz a constatação frequente de que é fácil melhorar aquilo que está mal e é progressivamente mais difícil melhorar aquilo que já está bem. Assim, a curva começa por subir moderadamente (proporcionando reduzidos ganhos de mérito) e acelera depois, proporcionando ganhos crescentes de mérito conforme nos aproximamos do limite mínimo (a fasquia).

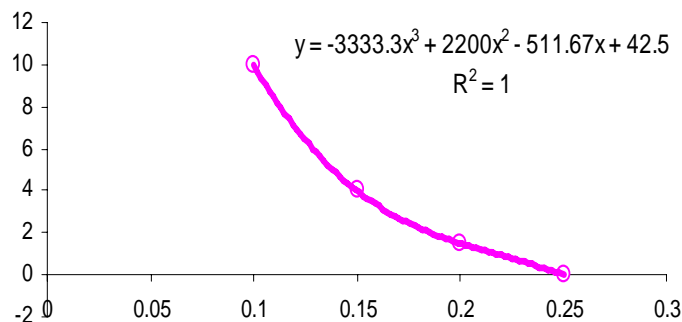


Figura 4 – Relação métrica – mérito decrescente, representada por uma função polinomial de 3º grau

Estas funções são deduzidas por algoritmos de regressão polinomial baseados nos mínimos quadrados e começaram por ser construídas automaticamente no MS-EXCEL recorrendo à função LINEST e foram mais tarde programadas em VBA. No *software*, basta introduzir os valores de mérito correspondentes à vigésima quinta (25ª) e septuagésima quinta (75ª) partes da amplitude de valores possíveis da métrica, tomando como referência, os valores que a função assumiria se fosse linear (ver o Quadro 1 e a Figura 5).

Quadro 1 – Valores de mérito y em função de valores da métrica x quando a função é linear (recta) ou polinomial (curva)

Métrica (x)	Recta Mérito (y)	Curva Mérito (y)
1	0	0
2	2.5	4
4	7.5	6
5	10	10

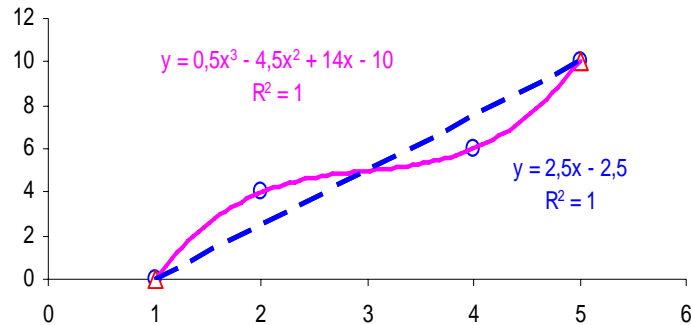


Figura 5 – Relação métrica-mérito representada por uma função linear ou por uma função polinomial de 3º grau

7. Avaliação multi-objectivo do mérito

Muitos métodos foram desenvolvidos nestes últimos anos de forma a possibilitarem a análise multicritério de alternativas de decisão. De entre estes, houve um que se popularizou bastante catapultado por empresas de consultoria e por uma aplicação informática chamada EXPERT-CHOICE. Este método de avaliação multicritério foi desenvolvido por Saaty [1] e foi designado *Analitycal Hierarchy Process* (AHP). Nós designamo-lo por Método Hierárquico Multicritério (MHM).

O MHM é particularmente adequado para estruturar um problema complexo considerando vários critérios e podendo abranger vários períodos, de uma forma hierárquica. A comparação dois a dois de elementos (atributos, critérios, subcritérios, etc.) pode realizar-se usando uma escala que permite avaliar em que medida um elemento domina outro segundo a 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.

O MHM comporta cinco fases:

1. Construção de uma hierarquia de elementos relacionados e identificação de alternativas de decisão;
2. Determinação da importância relativa dos critérios e (eventuais) subcritérios;
3. Determinação do peso de cada alternativa à luz de cada critério (ou subcritérios);
4. Determinação dos indicadores de coerência das comparações dois a dois;
5. Determinação do peso (ou classificação) global de cada alternativa.

O processo de cálculo dos vectores de preferência e dos rácios de coerência é normalmente complexo e moroso pelo que se torna obrigatório o recurso ao cálculo automático.

8. Descrição sumária do software

O ANIM é composto por uma aplicação e quatro documentos Excel auxiliares – dois de importação de dados e dois de exportação dos resultados. Estes documentos, serão, por sua vez, ligados a uma base de dados (BD). Esta BD guarda a estrutura de objectivos válida para cada equipamento, incluindo os correspondentes pesos. Esta estrutura só pode ser modificada por alguém autorizado mediante a introdução de uma *palavra-chave*. No fim de cada período de controlo de gestão, o utilizador chama a estrutura de cada máquina e introduz manualmente os

valores das métricas observadas nesse período. A aplicação calcula o mérito correspondente ao valor de cada métrica. Os resultados são depois exportados para uma folha auxiliar e, desta, poderão passar para a mesma BD. A BD guardará assim, quer as estruturas válidas em cada momento quer o histórico dos méritos de cada equipamento.

Modo de funcionamento

De forma sucinta, é o seguinte o modo de funcionamento do *software* ANIM:

1. Na entrada, o utilizador é confrontado com uma estrutura fixa de objectivos, estruturados a um primeiro nível segundo 4 eixos: i) melhorar a disponibilidade operacional; ii) melhorar a previsibilidade; iii) melhorar a segurança; iv) melhorar a eficiência. Cada um destes eixos desdobra-se, por sua vez, até mais dois níveis em vários sub-objectivos. O utilizador poderá optar pelos objectivos que considere pertinentes para cada equipamento concreto e ignorar os restantes (ver a Figura 6).
2. O utilizador selecciona depois os indicadores (métricas ou descritores) que considere mais adequados – para medir ou descrever cada objectivo sem descendentes – a partir de alguns sugeridos. Pode, no entanto, optar por outros e criá-los.
3. O utilizador atribui depois pesos aos objectivos em cada nível da hierarquia. Para apoio, pode recorrer ao MHM. De acordo com este, uma matriz auxiliar vai permitir a comparação dois a dois dos vários critérios existentes em cada nível de hierarquia e, assim, minimizar o grau de subjectividade que este procedimento sempre encerra.
4. O utilizador constrói seguidamente as curvas que melhor traduzem, em seu entender, as relações métrica-mérito através de um método gráfico, o qual passa pela fixação de forma interactiva das coordenadas de quatro pontos. A curva de melhor ajustamento (uma polinomial de terceiro grau) é construída automaticamente. As abcissas descrevem os valores possíveis a assumir por cada métrica e as ordenadas descrevem, numa escala de 0 a 10, o mérito ou a preferência. O valor 0 representa o nível mínimo, e o valor 10 o nível máximo. Este último constitui a “fasquia” que se pretende alcançar a curto prazo; corresponde às melhores práticas conhecidas e será ajustado (elevado) logo que o seu alcance se revelar trivial. Esta prática pretende influenciar o comportamento dos gestores da manutenção no sentido da perseguição permanente de objectivos cada vez mais ambiciosos.
5. O utilizador introduz o valor de cada métrica obtida em cada período de controlo e o valor correspondente de mérito introduzido, por sua vez, automaticamente na hierarquia. Estes valores de mérito (na escala de 0 a 10) são depois ponderados, também automaticamente pelos pesos atribuídos aos vários sub-objectivos no sentido ascendente da hierarquia e resultam finalmente num valor de mérito global naquele período de controlo (a Figura 7 mostra o resultado do caso-exemplo de aplicação).

O mérito global de 5,82 revela uma performance de cerca de 60% do máximo possível. Competirá agora ao gestor empreender as medidas necessárias para conseguir a melhoria da performance a curto prazo.

É de notar que os procedimentos descritos até ao ponto 4 são realizados episodicamente e os resultados manter-se-ão estáveis durante muito tempo (vários meses). Só o procedimento descrito no ponto 5 será realizado regularmente (no fim de cada período de controlo – normalmente um mês).

9. Análise de sensibilidade

Após a constatação de que o mérito global poderia ter sido melhor, interessa responder à questão: por onde começar? É para responder a esta questão que desenvolvemos um algoritmo para análise da sensibilidade do mérito global a melhorias percentuais de qualquer um dos 24 objectivos. A resposta surge de forma gráfica no *software* ANIM ao premirmos o botão “Gráfico Sensibilidade”.

A Figura 8 mostra a sensibilidade do mérito global a 5% de melhoria de qualquer um dos objectivos do caso-exemplo que vimos relatando. Os objectivos do tipo “quanto mais melhor” (incrementos) podem ser vistos a azul e os do tipo “quanto menos melhor” (decrementos) surgem a vermelho.

Podemos constatar que, neste exemplo, os objectivos que mais contribuem para o mérito global são os seguintes: 4.4.2 com 4,08%; 1.1.3 com 3,57%; 4.1 com 2,93%; 1.1.2 com 2,64%; 4.6 com 2,57%; 1.1.1 com 1,69% e 2.1 com 1,48%. Todos os outros objectivos contribuem isoladamente muito pouco para a melhoria do mérito global.

10. Conclusões

A combinação do método hierárquico multicritério MHM com as curvas de conversão métrica-mérito integrada na lógica do *Balance ScoreCard* permitiu construir um referencial de avaliação contínua da performance do estado de manutenção de um qualquer equipamento. Obtivemos uma hierarquia com vários níveis de objectivos que podem ser ponderados de acordo com o equipamento concreto e alinhados permanentemente com a estratégia da empresa. A possibilidade de modelação das curvas de transformação das métricas em mérito veio, por outro lado, criar uma forma de maior comprometimento e motivação dos gestores na perseguição dos objectivos. O método e o *software* encontram-se em fase de implementação com sucesso nas empresas parceiras deste projecto.

* O SITEM – Sistema Integrado de Engenharia e Gestão da Manutenção de Instalações foi desenvolvido no âmbito do Projecto Mobilizador SITEM, N° 03/147 (AdI – Agência de Inovação, S.A.), no âmbito do Programa PRIME – Medida 3.1A – Projectos Mobilizadores para o Desenvolvimento Tecnológico, envolvendo a ALSTOM, a CELULOSE BEIRA INDUSTRIAL (Celbi), a CPPE, a FEUP, a PORTUCEL e o ISQ.

Teve um incentivo de 3.325.433,89€ tem a duração de 34 meses e teve início em 3 de Novembro de 2003.

Referências

- [1] SAATY, Thomas L., *Decision Making for Leaders*, AHP Series, 1996
- [2] SINK, Scott, e Thomas Tuttle, *Planning and Measurement in your Organization of the Future*, Industrial Engineering e Management Press, 1989
- [3] KAPLAN, Robert S. e David P. Norton, *Balanced ScoreCard*, Harvard Business School Press, Boston, 1996
- [4] HANSEN, Robert C., *Overall Equipment Effectiveness*, Industrial Press Inc., New York, 2001
- [5] CUIGNET, Renaud, *Gestion de l'Entretien*, Dunod, Paris, 2002
- [6] WIREMAN, Terry, *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*, Industrial Press Inc., New York, 1998
- [7] BRACHET, D. *et al*, *Indicateurs de Maintenance*, CETIM, Paris, 2000
- [8] MATHER, Daryl, *An Introduction to the Maintenance Scorecard*, Industrial Press Inc., New York, 2004
- [9] TSANG, Albert H.C., *A Strategic Approach to Managing Maintenance Performance*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 4, No. 2, 1998, pp.87-94, The Hong Kong Polytechnic University Press

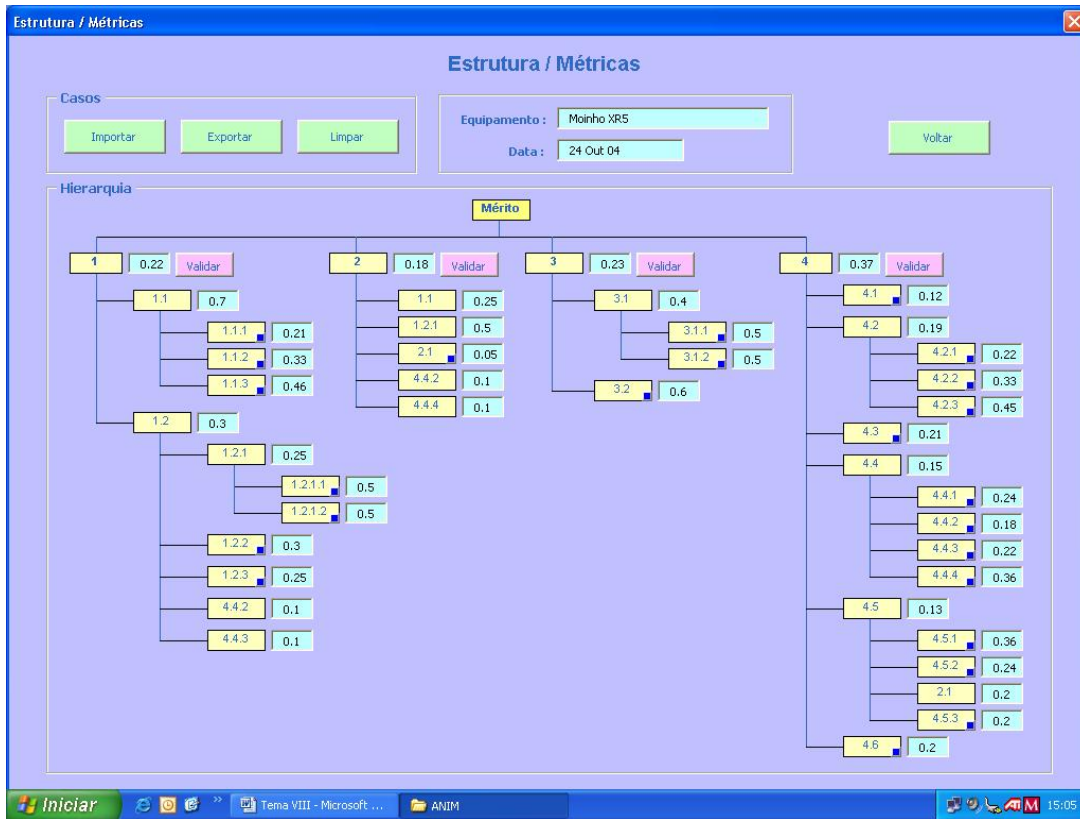


Figura 6 – Ecrã de estrutura de objectivos e métricas do software ANIM

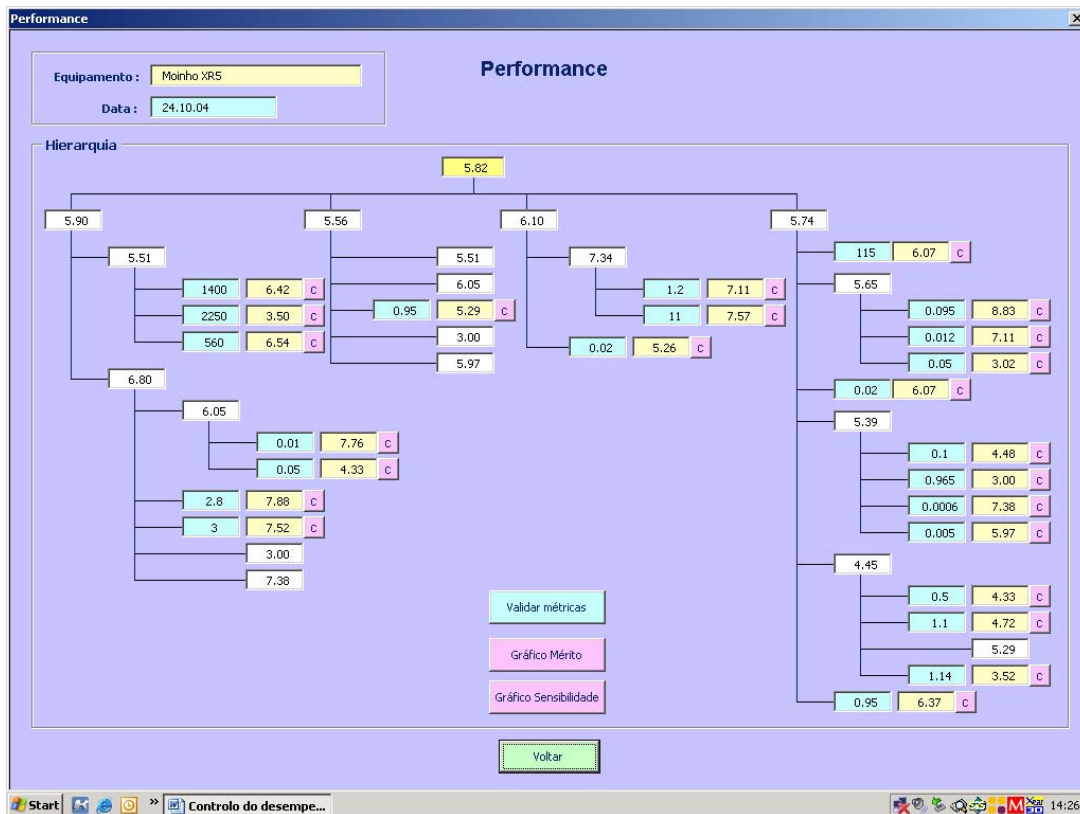


Figura 7 – Ecrã de performance do período de controlo do software ANIM, o qual mostra que o mérito global foi de 5,82 numa escala de 0 a 10

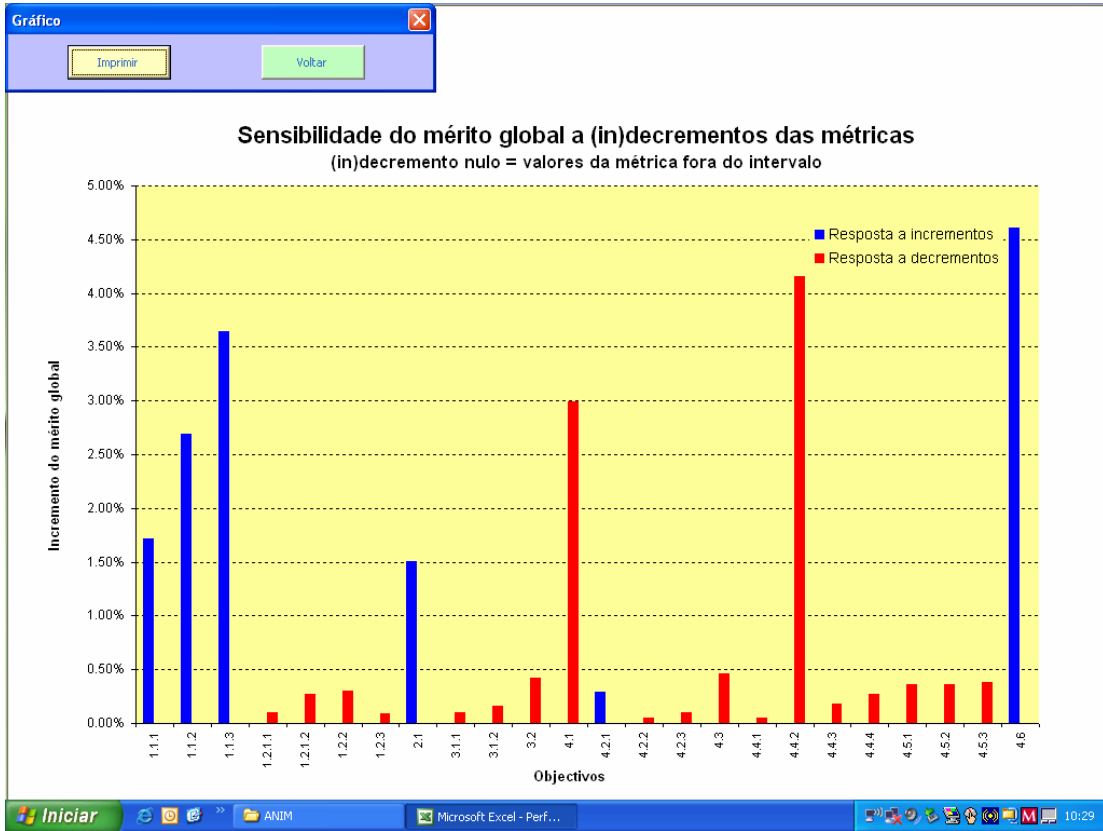


Figura 8 – Ecrã de análise de sensibilidade do mérito global a um incremento (ou decremento) de 5% de qualquer das métricas do *software* ANIM

Quadro 2 – Indicadores (métricas) de desempenho de um equipamento

1		
1.1		
1.1.1	1. Falhas/período; 2. MTTF	
1.1.2	1. Falhas/período; 2. MTTF	
1.1.3	1. Falhas/período; 2. MTTF	
1.2		
1.2.1		
1.2.1.1	h.h. repetições devidas a diagnóstico errado / Total de h.h.	
1.2.1.2	h.h. repetições devidas a má execução / Total de h.h.	
1.2.2	Momento intervenção – Momento do pedido de intervenção	
1.2.3	Tempos de paragem devido à falta de condições, materiais ou equipamentos necessários para efectuar a intervenção / Tempo total de <i>downtime</i>	
4.4.2	Tempo <i>standard</i> (previsto) / Tempo real de intervenção	
4.4.3	1. Horas de manutenção / Horas de funcionamento; 2. Horas de manutenção / Unidade de produto realizado	
2		
1.1		
1.2.1		
2.1	1. Desvios absolutos de tempo (em h.h.) / Tempo previsto (em h.h.); 2. nº técnicos previstos / nº técnicos envolvidos	
4.4.2	Tempo <i>standard</i> (previsto) / Tempo real de intervenção	
4.4.4	Desvio padrão dos tempos de intervenção / Média dos tempos de intervenção	
3		
3.1		
3.1.1	Nº de acidentes de trabalho / trabalhador.período	
3.1.2	Nº de dias com baixa resultantes de acidentes de trabalho / trabalhador.período	
3.2	Desvios dos limites aceitáveis observados / Valores limite das normas legais ou auto-impostas	

4		
4.1		Energia consumida / Unidades produzidas (incluindo rejeições)
4.2		
4.2.1		Nº de unidades requisitadas (quaisquer referências) / Nº médio de unidades existentes em <i>stock</i> (todas as referências)
4.2.2		Nº de referências inactivas (n meses) / Nº médio de referências existentes em <i>stock</i>
4.2.3		1. Nº pedidos não satisfeitos imediatamente / Nº total de pedidos; 2. Nº peças não satisfeitas imediatamente / Nº total peças requisitadas; 3. Nº requisições urgentes / Nº total requisições; 4. Nº O.T. aguardando peças / Nº total O.T. recebidas.
4.3		Quantidade de rejeições (<i>scrap e rework</i>) / Quantidade processada
4.4		
4.4.1		h.h. extra trabalhadas / h.h. totais trabalhadas
4.4.2		Tempo <i>standard</i> actual / Tempo <i>standard</i> de há <i>n</i> períodos atrás
4.4.3		1. Tempo de manutenção / Tempo de funcionamento; 2. Horas de manutenção / Unidade de produto realizado
4.4.4		Desvio padrão dos tempos de intervenção / Média dos tempos de intervenção
4.5		
4.5.1		Custo de manutenção (curativa + preventiva) / Horas de funcionamento
4.5.2		1. Nº de ordens de trabalho urgente / Nº de ordens de trabalho recebidas; 2. h.h. programadas / h.h. trabalhadas.
2.1		1. Desvios absolutos de tempo (em h.h.) / Tempo previsto (em h.h.); 2. nº técnicos previstos / nº técnicos envolvidos
4.5.3		h.h. planeadas / h.h. realizadas
4.6		Capacidade real / Capacidade nominal
