

PARTE 1 – FILOSOFIA SEIS SIGMA

1.1. INTRODUÇÃO

A filosofia Seis Sigma é uma prática fortemente disciplinada, de melhoria contínua, para ser aplicada em processos, produtos e serviços, com o objectivo de reduzir falhas e custos de produção. Cada vez mais utilizada pelas empresas, esta poderosa ferramenta tem atraído a atenção de empresários dos mais variados de sectores de actividade em todo o mundo.

Esta filosofia, associada aos métodos de produção Magra (*Lean Production* na terminologia técnica de expressão anglo-saxónica) permite aos seus utilizadores actuarem sobre os diversos processos existentes na empresa com a finalidade de se atingir uma maior fiabilidade, reduzir os custos de operação, reduzir os prazos de entrega, melhorar a coordenação entre departamentos, enfim, aumentar a competitividade. A estratégia consiste em fazer-se a conjugação da rapidez de execução do *Lean* com a eficácia, a robustez e a profundidade do *Six Sigma*. A integração do *Lean* e do *Six Sigma* é necessária na medida em que o *Six Sigma*, por si só, não consegue melhorar o tempo de ciclo dos processos, e o *Lean* considerado igualmente de forma isolada, não actua no controlo da variabilidade e da capacidade dos processos, assim como não consegue equacionar e otimizar variáveis complexas dos processos [1].

1.2. CONCEITO DA FILOSOFIA SEIS SIGMA

Como é sabido, a filosofia Seis Sigma (designada por *Six Sigma* na terminologia original anglo-saxónica) foi desenvolvida e implementada no seio da empresa norte-americana Motorola em 1986, por iniciativa do engenheiro Bill Smith, sendo uma prática fortemente disciplinada, de melhoria contínua, para ser aplicada em processos, produtos e serviços, com o objectivo de reduzir falhas e custos de produção. A sua ideia base consiste em que, se se conseguir avaliar quantas falhas ou defeitos se têm num determinado processo industrial, então, de uma forma sistemática, conseguem-se discernir os procedimentos a adoptar para se eliminar essas falhas e atingir-se a meta “zero defeitos”, sendo a prevenção de defeitos conseguida através da utilização de ferramentas estatísticas [2,3,4]. Por conseguinte, é uma metodologia que se focaliza na eliminação de desperdícios e na

redução de defeitos, assim como na redução da variabilidade dos processos, recorrendo ao desvio padrão. Em termos estatísticos, representa uma metodologia que assegura de uma forma quase perfeita os processos produtivos, impondo uma taxa máxima de produtos defeituosos de 3,4 por milhão (3,4 DPM – Defeitos Por Milhão), e baseando-se em três ferramentas estatísticas: média μ , desvio padrão σ e distribuição normal com uma função densidade de probabilidade $f(x)$. Como facilmente se depreende, a designação Sigma encontra-se directamente relacionada com o símbolo grego sigma (σ), utilizado na definição das grandezas probabilísticas “variância” e “desvio padrão”.

1.3. BASES PROBABILÍSTICAS E ESTATÍSTICAS

Considere-se que, de um modo geral, nas organizações industriais e de serviços, os respectivos processos produtivos e os objectivos a alcançar se podem enquadrar, em termos probabilísticos e estatísticos, na distribuição contínua de probabilidades normal ou de Gauss, como se mostra na figura 1.1. Atendendo a que esta distribuição, que corresponde a operações de curto prazo, é tomada como a distribuição de referência, optou-se por designá-la, conforme consta na figura 1.1 [5], por “distribuição normal de curto prazo, 6σ verdadeiro”, sendo ainda esta distribuição caracterizada por uma média μ_C e por um desvio padrão σ_C , que é o mesmo que dizer-se que esta média e este desvio padrão se referem às operações de curto prazo, daí o índice C. Nesta distribuição para operações de curto prazo, tem-se ainda, respectivamente, sendo k o nível sigma para operações de curto prazo [5,6,7]:

- *LSL – Lower Specification Limit* (Limite Inferior da Especificação):

$$LSL = \mu_C - k \sigma_C$$

- *USL – Upper Specification Limit* (Limite Superior da Especificação):

$$USL = \mu_C + k \sigma_C$$

- Áreas:

$$\begin{aligned} & \text{Área } A_L + \text{Área } A_U = \\ & = (\text{Área entre } -\infty \text{ e } LSL) + (\text{Área entre } USL \text{ e } +\infty) = \\ & = P(-\infty < x < LSL) + P(USL < x < +\infty) = \\ & = A_{eq}/2 + A_{eq}/2 = A_{eq} \\ & \text{Área entre } LSL \text{ e } USL = P(LSL < x < USL) = A = 1 - A_{eq} \end{aligned}$$

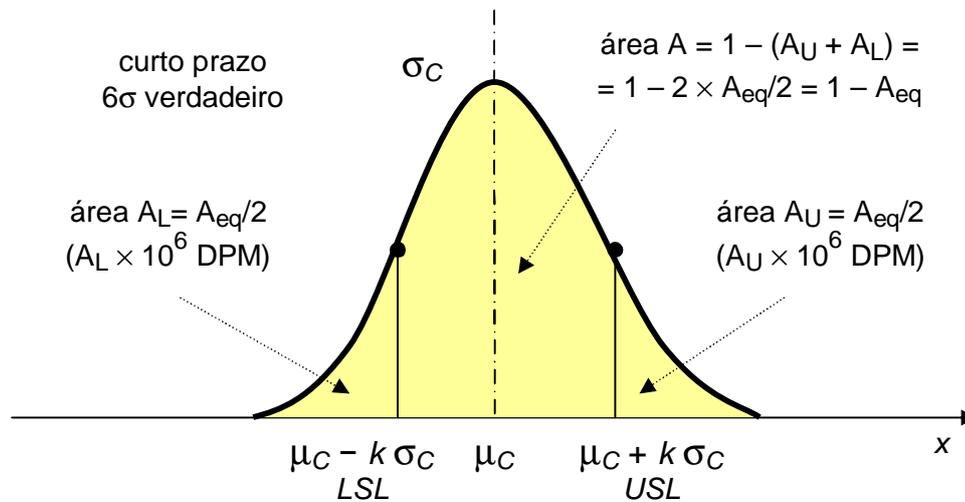


Figura 1.1 – Distribuição normal verdadeira, correspondente aos processos de curto prazo, com a indicação dos limites LSL e USL .

Recorrendo-se a esta distribuição normal, e tendo em atenção os processos de fabricação de produtos, a probabilidade de se ter um acontecimento x situado entre LSL e USL representará assim a probabilidade dos produtos fabricados se encontrarem em conformidade com as especificações previamente definidas, ou então, o número provável de produtos fabricados em conformidade, num determinado lote, por exemplo um milhão de peças fabricadas. Por conseguinte, como complemento, a probabilidade dos produtos fabricados se encontrarem fora das especificações, ou seja, com defeitos, ou então, o número provável de produtos fabricados com defeito, será a soma da probabilidade de se verificar um acontecimento x situado entre $-\infty$ e LSL com a probabilidade desse mesmo acontecimento se situar entre USL e $+\infty$. De acordo com esta análise, apresentam-se no quadro 1.1 as estimativas de produtos fabricados em conformidade e defeituosos, em função do desvio padrão. Como se pode observar, por exemplo para um intervalo de variação situado entre $\mu - 3\sigma$ e $\mu + 3\sigma$, a estimativa de produtos fabricados em conformidade é 99,73 % e de produtos defeituosos, $100 - 99,73 = 0,27$ %, ou seja, 2700 DPM (Defeitos Por Milhão), verificando-se não só que, para 6σ não há praticamente componentes defeituosos, mas também que a situação de 3,4 DPM acontece para o intervalo $\mu_C \pm 4,5\sigma_C$.

Intervalos de variação (LSL e USL)	Percentagem de produtos em conformidade	Percentagem de produtos com defeito	Produtos com defeito por milhão (DPM)
$\mu_C \pm 1\sigma_C$	68,26	31,74	317400
$\mu_C \pm 2\sigma_C$	95,46	4,54	45400
$\mu_C \pm 3\sigma_C$	99,73	0,27	2700
$\mu_C \pm 4\sigma_C$	99,9937	0,0063	63
$\mu_C \pm 4,5\sigma_C$	99,99966	0,00034	3,4
$\mu_C \pm 5\sigma_C$	99,999943	0,000057	0,57
$\mu_C \pm 6\sigma_C$	99,9999998	0,0000002	0,002

Quadro 1.1 – Estimativas (probabilidades) de produtos em conformidade e defeituosos, para operações de curto prazo.

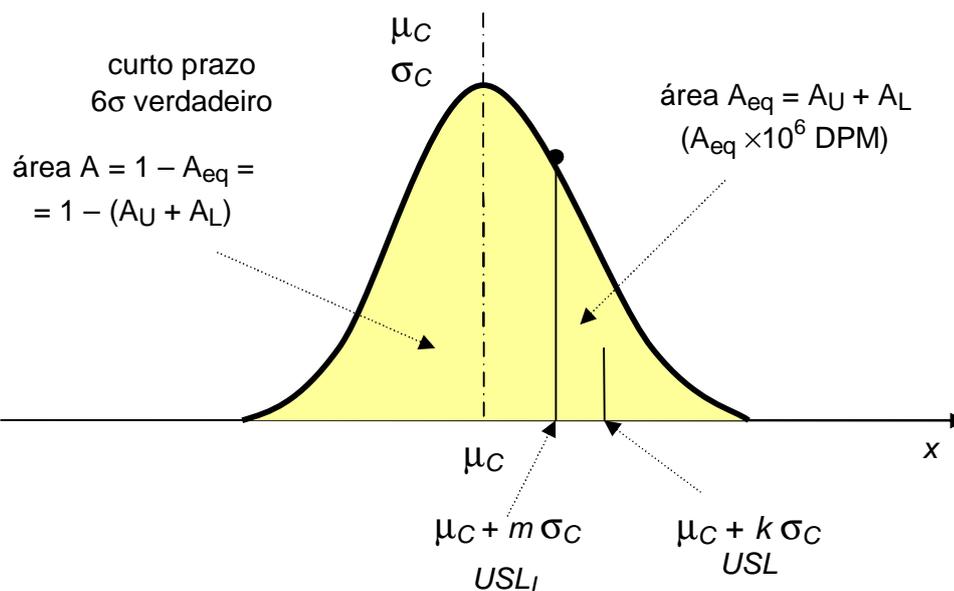


Figura 1.2 – Distribuição normal verdadeira, da figura 1.1, correspondente aos processos de curto prazo, com a indicação apenas de um limite superior equivalente USL_L – Long-Term Upper Specification Limit (Limite Superior da Especificação, para operações de longo prazo).

Adicionalmente, na figura 1.2 mostra-se a mesma distribuição normal, mas agora com a indicação apenas de um limite superior de especificação, que define uma única área equivalente $A_{eq} = A_U + A_L$. Relativamente às figuras 1.1 e 1.2, é de notar

que a constante k , que representa o nível sigma da distribuição normal verdadeira (operações de curto prazo), é diferente da constante genérica m , que define a área equivalente A_{eq} , e que representará o nível sigma das operações de curto prazo, mas reportado à distribuição verdadeira. Para esta nova situação tem-se assim:

$$(\text{Área entre } USL_L \text{ e } +\infty) = P(USL_L < x < +\infty) = A_{eq}$$

Na prática, para a definição da filosofia Seis Sigma, considerou-se como aceitável uma diferença de $6\sigma - 4,5\sigma = 1,5\sigma$ [2,3,4,5,6,7], sendo de salientar que o valor 3,4 DPM e o conseqüente afastamento de $1,5\sigma$ foram estabelecidos arbitrariamente, daí constituírem motivo de alguma controvérsia. Por conseguinte, em termos equivalentes, ter-se-á uma outra curva normal (longo prazo) cujo eixo de simetria, que corresponde à sua média μ_L , se encontra deslocado do eixo da distribuição normal verdadeira (curto prazo) μ_C de $1,5\sigma_C$, sendo então a distância entre μ_L e a abcissa correspondente à especificação 3,4 DPM, igual a $4,5\sigma_C$. Com este “truque”, que consiste na translação da distribuição normal para processos de curto prazo, mantém-se assim o coeficiente 6, igual à soma dos coeficientes 1,5 e 4,5 que afectam o respectivo desvio padrão, sendo contudo alvo de algumas críticas uma vez que não representa uma análise rigorosa da distribuição normal. Por conseguinte, na figura 1.3 apresenta-se a “distribuição normal adaptada, desviada de $1,5\sigma_C$ ”, isto é, para operações de longo prazo, que se obtém deslocando-se de $1,5\sigma_C$ a distribuição normal verdadeira, correspondente a operações de curto prazo, exposta nas figuras 1.1 e 1.2. Para o caso particular da definição da Seis Sigma, tem-se então:

$$m = 4,5$$

limite superior da especificação para o nível sigma da filosofia Seis Sigma =

$$= \mu_C + (m + 1,5) \sigma_C = \mu_C + 6 \sigma_C = USL_L + 1,5 \sigma_C$$

$$USL_L = \mu_C + m \sigma_C = \mu_C + 4,5 \sigma_C$$

Como se constata da análise realizada até esta altura, têm-se assim três níveis sigma diferenciados [5,6]:

- k – nível sigma para operações de curto prazo, definido na distribuição normal verdadeira (figura 1.1),

- m – nível sigma para operações de longo prazo, definido na distribuição normal verdadeira (figura 1.1), ou seja, referido às operações de curto prazo,
- $(m + 1,5)$ – nível sigma para as operações de longo prazo, definido na distribuição normal adaptada (figura 1.3), e que representa o nível sigma da filosofia Seis Sigma.

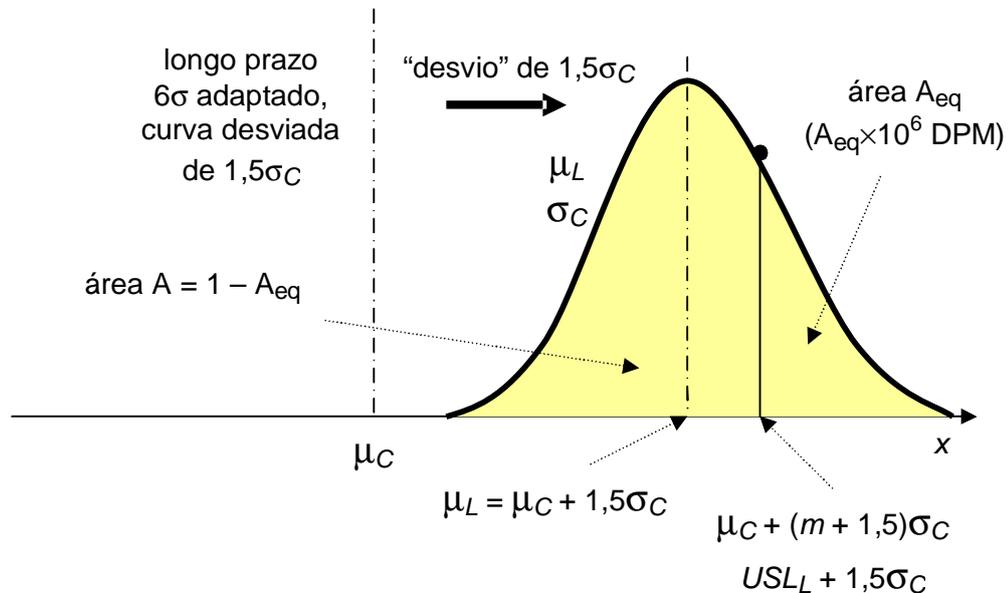


Figura 1.3 – Distribuição normal adaptada, correspondente 1 aos processos de longo prazo.

Ou seja, o nível 6σ é o nível para a distribuição normal verdadeira (0,002 DPM), isto é, para operações de curto prazo, sendo, por outro lado, o nível fictício para a filosofia seis sigma, isto é, para a distribuição normal adaptada (3,4 DPM). Contudo, como se verá nesta análise, que se pretende seja o mais esclarecedora possível, o nível sigma de referência é sempre o da normal verdadeira, correspondente às operações de curto prazo. Para melhor entendimento, apresenta-se no quadro 1.2, elaborado a partir do quadro 1.1, a relação entre os níveis sigma para a distribuição normal verdadeira (operações de curto prazo, figura 1.1), e as percentagens de produtos em conformidade e com defeito.

Por sua vez, apresenta-se no quadro 1.3 a mesma estrutura mas para a distribuição normal adaptada (operações de longo prazo, figura 1.3), sendo patente a introdução do “factor de desvio” 1,5. Por conseguinte, este quadro foi elaborado fazendo-se os cálculos das áreas tendo em atenção esta diferença que se apontou, ou seja, tendo-

se considerado unicamente a área DPM situada à direita da distribuição normal adaptada (figuras 1.2 e 1.3).

Níveis Sigma (k)	Intervalos de variação (LSL e USL)	Percentagem de produtos em conformidade	Percentagem de produtos com defeito	Produtos com defeito por milhão (DPM)
1σ	$\mu_C \pm 1\sigma_C$	68,26	31,74	317400
2σ	$\mu_C \pm 2\sigma_C$	95,46	4,54	45400
3σ	$\mu_C \pm 3\sigma_C$	99,73	0,27	2700
4σ	$\mu_C \pm 4\sigma_C$	99,9937	0,0063	63
5σ	$\mu_C \pm 5\sigma_C$	99,999943	0,000057	0,57
6σ	$\mu_C \pm 6\sigma_C$	99,9999998	0,0000002	0,002

Quadro 1.2 – Níveis sigma para a distribuição normal verdadeira (operações de curto prazo).

Níveis Sigma (m)	Intervalos de variação (USL_L)	Percentagem de produtos em conformidade	Percentagem de produtos com defeito	Produtos com defeito por milhão (DPM)
$-0,5\sigma$	$\mu_L - 0,5\sigma_C$	31	69	690000
$0,5\sigma$	$\mu_L + 0,5\sigma_C$	69,2	30,8	308000
$1,5\sigma$	$\mu_L + 1,5\sigma_C$	93,32	6,68	66800
$2,5\sigma$	$\mu_L + 2,5\sigma_C$	99,379	0,621	6210
$3,5\sigma$	$\mu_L + 3,5\sigma_C$	99,977	0,023	230
$4,5\sigma$	$\mu_L + 4,5\sigma_C$	99,99966	0,00034	3,4

Quadro 1.3 – Níveis sigma para a distribuição normal adaptada (operações de longo prazo).

Atendendo às figuras 1.2 e 1.3, ao analisar-se o “desvio” da distribuição adaptada (longo prazo) face à distribuição verdadeira (curto prazo), constata-se que se tem a seguinte transformação, para o limite superior da especificação no que respeita à distribuição adaptada:

$$\mu_L + k\sigma_C = (\mu_C + 1,5\sigma_C) + k\sigma_C = \mu_C + (1,5 + k)\sigma_C$$

Por conseguinte, conjugando esta transformação com o quadro 1.3, obtém-se o quadro 1.4, que permite assim compreender um pouco melhor a relação entre os níveis sigma da distribuição adaptada e da filosofia Seis Sigma.

Níveis Sigma adaptados (m)	Intervalos de variação ($USL_L \Leftrightarrow USL_L + 1,5 \sigma_C$)	Níveis Sigma Seis Sigma ($m + 1,5$)
$-0,5\sigma$	$\mu_L - 0,5\sigma_C \Leftrightarrow \mu_C + 1\sigma_C$	1σ
$0,5\sigma$	$\mu_L + 0,5\sigma_C \Leftrightarrow \mu_C + 2\sigma_C$	2σ
$1,5\sigma$	$\mu_L + 1,5\sigma_C \Leftrightarrow \mu_C + 3\sigma_C$	3σ
$2,5\sigma$	$\mu_L + 2,5\sigma_C \Leftrightarrow \mu_C + 4\sigma_C$	4σ
$3,5\sigma$	$\mu_L + 3,5\sigma_C \Leftrightarrow \mu_C + 5\sigma_C$	5σ
$4,5\sigma$	$\mu_L + 4,5\sigma_C \Leftrightarrow \mu_C + 6\sigma_C$	6σ

Quadro 1.4 – Adaptação dos níveis sigma da distribuição normal adaptada (operações de longo prazo), para a filosofia Seis Sigma.

Por sua vez, no quadro 1.5 apresenta-se a comparação entre os produtos em conformidade e com defeito, para as duas distribuições, como resultado da conjugação dos quadros 1.2, 1.3 e 1.4.

Níveis sigma (k e Seis Sigma)	Percentagem de produtos em conformidade		Produtos com defeito por milhão (DPM)	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
1σ	68,26	31	317400	690000
2σ	95,46	69,2	45400	308000
3σ	99,73	93,32	2700	66800
4σ	99,9937	99,379	63	6210
5σ	99,999943	99,977	0,57	230
6σ	99,9999998	99,99966	0,002	3,4

Quadro 1.5 – Correspondência entre os níveis sigma de curto prazo (k) e de longo prazo (Seis Sigma), relativamente às percentagens de produtos em conformidade e com defeito.

Ao analisar-se a distribuição normal em termos de áreas DPM (figuras 1.1 a 1.3), assim como os quadros 1.1 a 1.5, constata-se ainda o seguinte:

- para $k < 4,5$, tem-se $m < k$, ou seja, $USL_L < USL$, uma vez que a área A_{eq} é tanto mais significativa quanto menor for k ,
- para $k = 4,5$, tem-se $m \approx k$, ou seja, $USL_L \approx USL$, uma vez que a área A_{eq} é reduzidíssima,
- para $k > 4,5$, tem-se $m = k$, ou seja, $USL_L = USL$, uma vez que a área A_{eq} é ainda mais reduzida, tendendo para zero.

Curiosamente, note-se que, para o nível $k = 4,5$, que representa a fronteira entre $USL_L < USL$ e $USL_L \approx USL$ a operação de conversão $1,5 + 4,5 = 6$ “encaixa-se que nem uma luva” na definição da Seis Sigma![6,8].

1.4. CONCEITOS E DEFINIÇÕES DE DPU, DPO E DPMO

1.4.1. Distribuição de Poisson

A distribuição discreta de Poisson encontra-se relacionada com a probabilidade da ocorrência de um determinado número de acontecimentos num dado intervalo de tempo ou num processo contínuo, onde a média μ de ocorrência desses acontecimentos é conhecida. Esta distribuição é bastante importante não só para a determinação da probabilidade da ocorrência de defeitos em produtos fabricados, mas também em manutenção industrial para o cálculo e para o conhecimento da probabilidade de se verificarem falhas nos equipamentos ou rupturas de *stocks* de materiais de manutenção. Por conseguinte, deve estar incluída nas ferramentas probabilísticas e estatísticas associadas aos departamentos de qualidade, de produção, e de manutenção, sendo obrigatório, como se torna evidente, que os responsáveis e os técnicos superiores desses departamentos dominem perfeitamente a sua aplicação, para que as metodologias associadas às filosofias Magra e Seis Sigma possam ser correctamente utilizadas.

A distribuição de Poisson é caracterizada pela seguinte expressão [7]:

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}$$

sendo $P(x)$ a probabilidade de ocorrência de um acontecimento x , μ a média aritmética de ocorrências desse acontecimento, e $e = 2,718282$ (base dos logaritmos

naturais, ou constante de Neper). A média, a variância σ^2 , e o desvio padrão σ encontram-se relacionados da seguinte maneira [7]:

$$\mu = \sigma^2$$

$$\sigma = \sqrt{\mu} = \sqrt{\sigma^2}$$

1.4.2. Defeitos Por Unidade *DPU*

Este indicador é definido como sendo o seguinte rácio [6,7,8,9]:

$$DPU = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número total de unidades inspeccionadas ou verificadas}}$$

Uma unidade, por sua vez, deve ser definida como um produto acabado que sai de um processo produtivo, salientando-se que, no denominador, o número total de unidades inspeccionadas ou verificadas corresponde a simples peças ou componentes fabricados, por exemplo parafusos ou tiristores de potência, ou então a unidades constituídas por diversos componentes, como sucede com uma caixa de velocidades, com uma carta electrónica em circuito impresso, ou com um electrodoméstico.

Quanto ao numerador, o número total de defeitos corresponde ao número total de peças simples ou de componentes fabricados, e não de unidades defeituosas, no sentido mais vasto de unidade, ou seja, de uma agregação de peças simples ou de componentes. Por conseguinte, nesta definição de *DPU* utiliza-se a totalidade dos defeitos verificados nas peças simples em vez de se considerarem apenas as unidades defeituosas.

Assim sendo, $P(x)$ é a probabilidade de existirem x defeitos numa unidade produzida, e μ representa o número médio de defeitos por unidade, tendo-se assim:

$$\mu = DPU$$

$$P(x) = \frac{DPU^x e^{-DPU}}{x!}$$

Em termos gerais, o objectivo de uma linha de produção, sobretudo se vigorar a Seis Sigma, é fabricar equipamentos sem defeitos. Deste modo, utilizando a distribuição de Poisson, a probabilidade de se produzirem unidades isentas de defeitos é:

$$P(0) = \frac{DPU^0 e^{-DPU}}{0!} = e^{-DPU}$$

Como é sabido, os processos de fabricação são constituídos por diversas operações, que englobam vários passos ligados de forma dependente entre si. Por conseguinte, a probabilidade de uma unidade ultrapassar um desses passos isenta de defeitos será [7]:

$$P(0) = e^{-DPU}$$

Designando esta probabilidade por y (*yield*, produto em conformidade), tem-se:

$$y = e^{-DPU}$$

representando assim y a probabilidade de uma unidade ultrapassar um primeiro passo de fabricação, sem defeitos. Ou seja, y corresponde à probabilidade de aprovação à primeira. Esta probabilidade é designada na literatura inglesa por *first pass yield* [7,9], que se poderá traduzir, em termos de significado físico, por “unidade sem defeitos de primeiro passo”. Deste modo, conhecendo-se a probabilidade de uma unidade ultrapassar o primeiro passo de fabricação sem defeitos, consegue-se calcular DPU manipulando matematicamente a expressão anterior, ou seja [7]:

$$DPU = -\ln(y)$$

Como se explicitou anteriormente, o *first pass yield* representa a probabilidade de uma unidade produzida ultrapassar um passo do processo de fabricação. Com base neste conceito, Bass [7] apresenta um outro conceito, mais completo, designado por *RTY – Rolled Throughput Yield*, que representa a probabilidade de uma unidade produzida ultrapassar um conjunto de processos sem quaisquer defeitos e que se poderá traduzir por “unidade sem defeitos através do conjunto de processos”. Em termos matemáticos, para m processos encadeados, cada um deles com um *first pass yield* y_n , o *RTY* será calculado pelo seu produto, atendendo a que se têm m probabilidades em série [7,8]:

$$RTY = \prod_{n=1}^m y_n$$

Consequentemente, tem-se ainda:

$$DPU = -\ln(RTY)$$

Note-se que se tem, como é evidente:

$$\begin{aligned} DPU &= -\ln(RTY) = -\ln\left(\prod_{n=1}^m y_n\right) = \\ &= -\sum_{n=1}^m \ln(y_n) = \sum_{n=1}^m DPU_n \end{aligned}$$

1.4.3. Defeitos Por Oportunidade *DPO*

Este parâmetro, em termos de definição generalizada, representa o rácio entre o número de defeitos e o número de oportunidades de se observarem esses defeitos, ou seja:

$$DPO = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número total de oportunidades de defeito}}$$

Para melhor compreensão, uma vez que o conceito expresso no denominador poderá apresentar alguma complexidade, considere-se a situação correspondente a uma organização industrial, em que o seu desempenho global corresponde à *Six Sigma Business Scorecard*, devendo *DPU* e *DPO* serem calculados tendo como base os recursos humanos com poder decisório, tendo-se assim [9]:

$$DPU = \frac{\text{número total de decisões incorrectas}}{\text{número total de decisores afectos aos processos}}$$

$$DPO = \frac{\text{número total de decisões incorrectas}}{\text{número total de decisores}}$$

$$\begin{aligned} &\text{número total de decisores} = \\ &= \text{número total de decisores afectos aos processos} \times \\ &\quad \times \text{número de directores executivos} \end{aligned}$$

$$DPO = \frac{DPU}{\text{número de directores executivos}}$$

Saliente-se que esta demonstração conduz exactamente à expressão de cálculo de *DPMO* que se apresenta directamente em [6], sendo *DPU* calculado recorrendo-se à distribuição de Poisson, como se deduziu atrás.

1.4.4. Defeitos Por Milhão de Oportunidades *DPMO*

É calculado, como se torna óbvio, através da expressão [3,6,9]:

$$DPMO = DPO \times 10^6$$

sendo este o indicador normalmente utilizado na filosofia Seis Sigma para a determinação dos níveis sigma, através da distribuição normal de probabilidades [5,6,7,8,9].

1.5. DETERMINAÇÃO PRÁTICA DO NÍVEL SIGMA

Como se salientou anteriormente, através dos quadros 1.2 a 1.5, existe uma correspondência entre os níveis sigma para processos de curto prazo e de longo prazo, sendo assim importante determinar, para cada processo e de um modo prático, qual o correspondente nível sigma associado à filosofia Seis Sigma. O conhecimento deste indicador é extremamente importante, do ponto de vista técnico e económico, na medida em que deverá representar o ponto de partida para a implementação de melhorias no processo produtivo ou nos serviços a prestar, como deveria suceder, por exemplo, nos organismos públicos. Para o seu cálculo, deve-se recorrer à utilização da variável normal padrão, mostrando-se na figura 1.4 a distribuição normal $f(Z)$, com $Z \in N(0;1)$, e com a indicação dos limites superior e inferior da especificação a cumprir, que deverá ser definida previamente pelos responsáveis dos processos produtivos ou dos serviços [2,6,7,8].

Por sua vez, na figura 1.5 mostra-se a mesma distribuição normal, mas agora com a definição apenas de um limite superior de especificação, equivalente. Note-se que a metodologia que se apresenta corresponde a um modo prático de trabalho com a distribuição normal, considerando-se rigorosamente a mesma curva normal padronizada, e introduzindo-se no final dos cálculos o factor de translação 1,5, que poderá igualmente ser designado por “factor de desvio”. Note-se que as distribuições padronizadas das figuras 1.4 e 1.5, correspondem, respectivamente, às distribuições normais das figuras 1.1 e 1.2, tendo sido obtidas recorrendo-se à transformação da

variável contínua x na variável padronizada Z , como é sabido do cálculo de probabilidades [6,7,8].

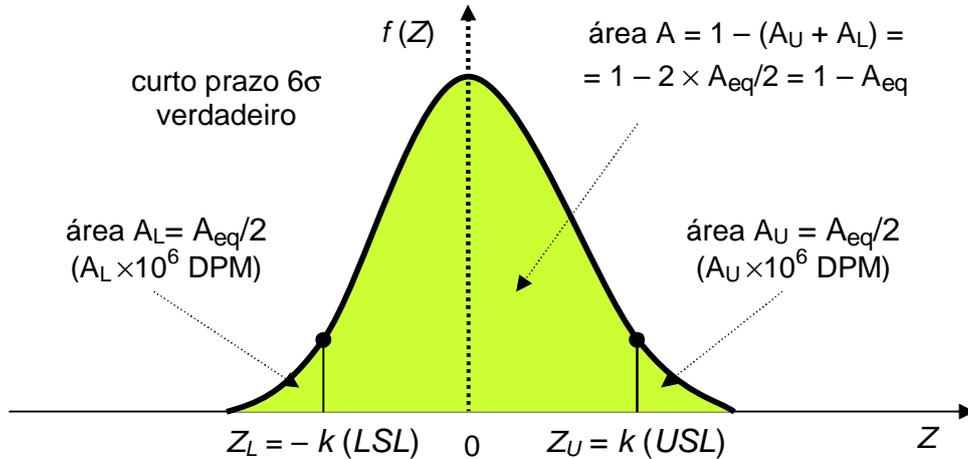


Figura 1.4 – Distribuição normal padrão verdadeira, para operações de curto prazo, e com a indicação dos limites superior e inferior da especificação.

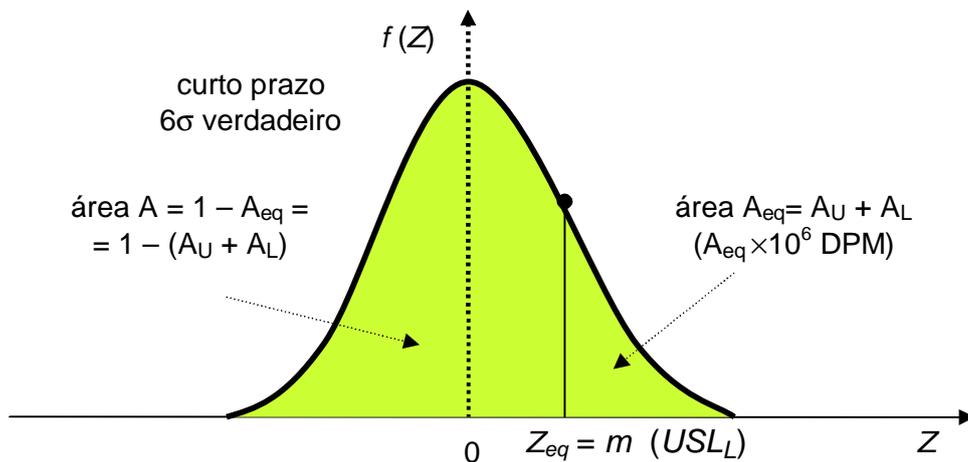


Figura 1.5 – Distribuição normal padrão verdadeira, para operações de curto prazo, e com a definição apenas de um limite superior de especificação, equivalente.

Conforme ficou bem patente na análise detalhada que se apresenta, o facto de se “impingir” 4,5 sigmas como se fossem 6 sigmas, obriga a ter-se sempre em linha de conta o “factor de desvio” 1,5, tornando bastante complexa e morosa, como é fácil de se constatar, não só a interpretação da distribuição normal mas também a sua adaptação, no sentido de se justificar esse desvio, daí que consideremos bastante pertinentes as críticas que argumentam que essa análise não corresponde a um verdadeiro estudo daquela distribuição, mas sim a uma adaptação conveniente, para justificar os desvios existentes.

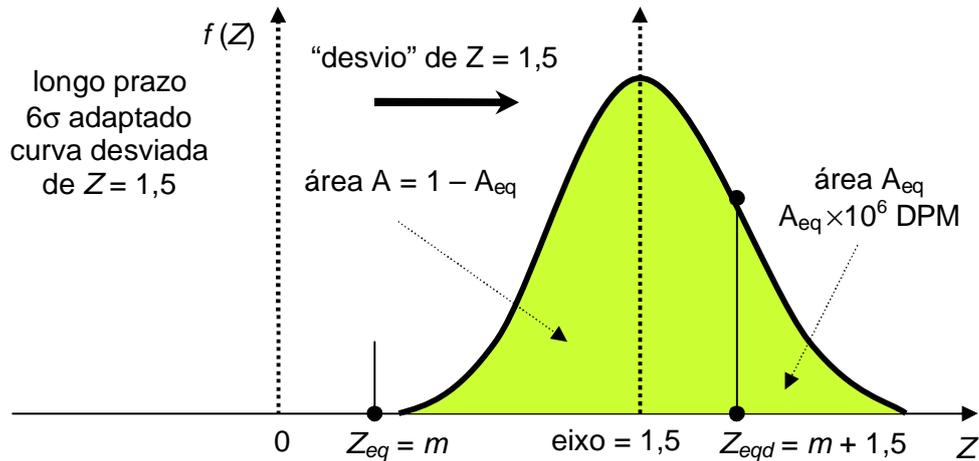


Figura 1.6 – “Desvio” de $Z = 1,5$ da curva padrão, correspondente aos processos de longo prazo.

Como tal, pretende-se que a análise que se apresenta seja o mais elucidativa possível, nas vertentes científica e pedagógica, para o cabal entendimento de todas estas transformações e adaptações.

A sequência de cálculo deverá então ser a seguinte [6,8]:

- Imposição dos limites inferior e superior da especificação:

$$LSL = \mu_C - k\sigma_C$$

$$USL = \mu_C + k\sigma_C$$

- Cálculo dos respectivos valores da variável Z :

$$Z_L = \frac{LSL - \mu_C}{\sigma_C} = \frac{(\mu_C - k\sigma_C) - \mu_C}{\sigma_C} = -k$$

$$Z_U = \frac{USL - \mu_C}{\sigma_C} = \frac{(\mu_C + k\sigma_C) - \mu_C}{\sigma_C} = k$$

- Cálculo das áreas A_L , A_U e A :

$$A_L = P(Z < Z_L) = P(Z < -k) = P(Z > k) = 1 - P(Z < k) = 1 - A(k)$$

$$A_U = P(Z > Z_U) = P(Z > k) = 1 - P(Z < k) = 1 - A(k)$$

$$A = 1 - (A_U + A_L) = 1 - A_{eq}$$

note-se que $A(k)$ representa a área compreendida pela curva, entre $-\infty$ e $Z = k$, sendo obtida directamente a partir da tabela da variável normal padrão.

- Cálculo da área equivalente:

$$A_{eq} = A_U + A_L = 1 - A$$

- Cálculo do limite superior equivalente: como se tem:

$$P(Z > Z_{eq}) = 1 - P(Z < Z_{eq}) = 1 - A = 1 - A(Z_{eq}) = 1 - A(m)$$

então $Z_{eq} = m$ é tal que $A(Z_{eq}) = A(m) = 1 - A_{eq} = A$, sendo obtido a partir da tabela normal padrão.

- Cálculo do nível sigma: como se deve ter em conta o “desvio” de 1,5 sigmas, atendendo a que, nesta sequência prática de cálculo, se considerou a mesma distribuição padrão, então há que introduzir esse factor para se obter, em termos equivalentes da filosofia Seis Sigma, o respectivo nível sigma. Por conseguinte, este nível corresponde igualmente à translação de Z_{eq} em 1,5 sigmas (figura 1.6, obtida a partir da figura 1.3), de modo a acompanhar o desvio da curva normal, tendo-se assim:

$$\text{nível sigma} = Z_{eqd} = Z_{eq} + 1,5 = m + 1,5$$

Saliente-se que se tem ainda, atendendo às figuras 1.1, 1.2, 1.3 e 1.6:

$$Z_{eq} = \frac{USL_L - \mu_C}{\sigma_C} = \frac{(\mu_C + m\sigma_C) - \mu_C}{\sigma_C} = m$$

$$\text{eixo} = \frac{(\mu_C + 1,5\sigma_C) - \mu_C}{\sigma_C} = 1,5$$

$$Z_{eqd} = \frac{(USL_L + 1,5\sigma_C) - \mu_C}{\sigma_C} = \frac{(\mu_C + m\sigma_C + 1,5\sigma_C) - \mu_C}{\sigma_C} = m + 1,5$$

- Como complemento, e atendendo às figuras 1.1 a 1.3, podem-se ainda calcular os seguintes parâmetros:

$$USL_L = \mu_C + m\sigma_C$$

$$\mu_L = \mu_C + 1,5 \sigma_C$$

$$USL_L + 1,5 \sigma_C$$

1.6. CUSTOS DE MÁ QUALIDADE

Como é sabido, quando se fabricam produtos defeituosos existem custos associados a esses defeitos, daí que o custo final de cada produto se encontre directamente relacionado com a taxa de defeitos, podendo escrever-se [10]:

$$\begin{aligned} & \text{custo final de produção de cada produto} = \\ & = \text{custo inicial de produção de cada produto} (1 + \text{taxa de defeitos}) \end{aligned}$$

Níveis Seis Sigma	COPQ (em função do volume de vendas)
2	não competitivo
3	25 – 40 %
4	15 – 25 %
5	5 – 15 %
6	< 1 %

Quadro 1.6 – Relação entre os níveis Seis Sigma e os custos de má qualidade.

Como facilmente se constata, o custo adicional que resulta da fabricação de mais produtos que o previsto, para substituir as unidades defeituosas, representa uma perda de recursos que é deduzida do lucro global da empresa.

De acordo com [10], apresenta-se no quadro 1.6 a relação existente entre os níveis Seis Sigma e os custos de má qualidade *COPQ* (*Costs Of Poor Quality*), expressos percentualmente em função do volume de vendas, constatando-se que, sem dúvida, é essencial que o nível Seis Sigma seja o mais elevado possível.

1.7. SUCESSO SEIS SIGMA

De acordo com a figura 1.7, pode-se concluir que o segredo do Seis Sigma assenta em três pilares essenciais e imprescindíveis para atingir o seu pleno sucesso. Verifica-se assim que esta metodologia assenta no pilar central (modelo DMAIC) e, se não existir investimento financeiro (\$\$\$) apropriado ou um elevado envolvimento da alta administração da empresa (AAE), a estrutura acaba por ceder.

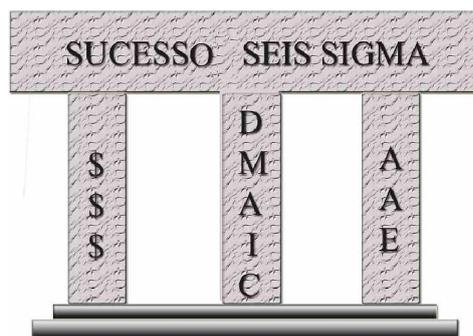


Figura 1.7 – O segredo do sucesso do Seis Sigma.

Para se garantir o sucesso do Seis Sigma, é aconselhável a adopção das seguintes posturas:

- Melhoria contínua da expansão do Seis Sigma – envolvimento de todas as áreas da empresa de fornecedores e de clientes.
- Uso da metodologia adequada à realidade actual e à visão pretendida.
- Divulgação constante dos resultados obtidos com o Seis Sigma.
- Formação dirigida aos especialistas do programa.

1.8. ORGANIGRAMA DO GRUPO SEIS SIGMA

Na figura 1.8 apresenta-se o organigrama de implementação da filosofia Seis Sigma, de acordo com os vários níveis hierárquicos envolvidos e na figura 1.9 discrimina-se o ponto central da sua actividade [3,4,5].

Por conseguinte, apesar desta filosofia obrigar ao empenhamento de toda a organização, deve ser criada uma estrutura restrita com os seguintes níveis hierárquicos [3,4,5]:

- **Sponsor** (Responsável) – Sponsor que patrocina a iniciativa empresarial Seis Sigma, define os objectivos e cria a estrutura necessária para a sua implementação, e selecciona igualmente os recursos humanos e os projectos.
- **Champions** (Campeões) – são os responsáveis pela implementação do Seis Sigma em toda a organização.
- **Master Black Belts** (Mestres Cinturões Negros) – dão apoio aos Champions e são os guias dos Black Belts e Green Belts, assegurando a aplicação consistente do Seis Sigma a todos os sectores da organização.

- **Black Belts** (Cinturões Negros) – são os responsáveis pelas equipas de trabalho que têm como funções a análise e o acompanhamento dos processos de melhoria contínua.
- **Green Belts** (Cinturões Verdes) – integram as equipas lideradas pelos Black Belts, sendo os executores das tarefas definidas para essas equipas.

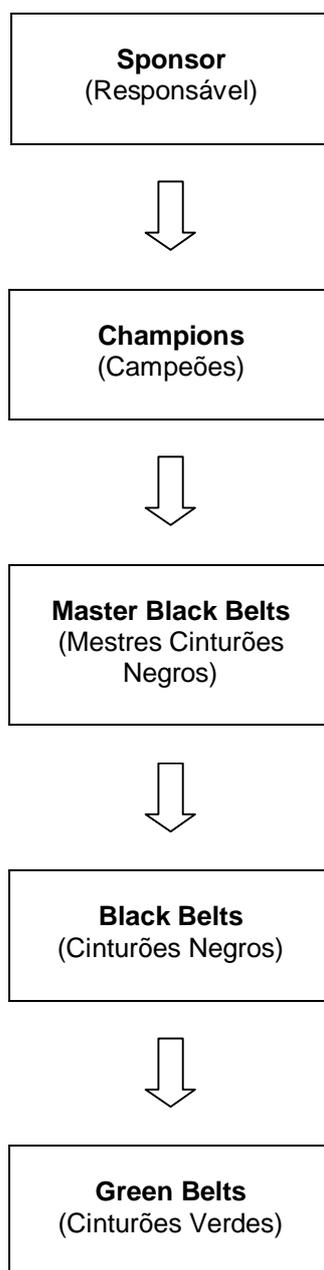


Figura 1.8 – Organograma do grupo Seis Sigma.

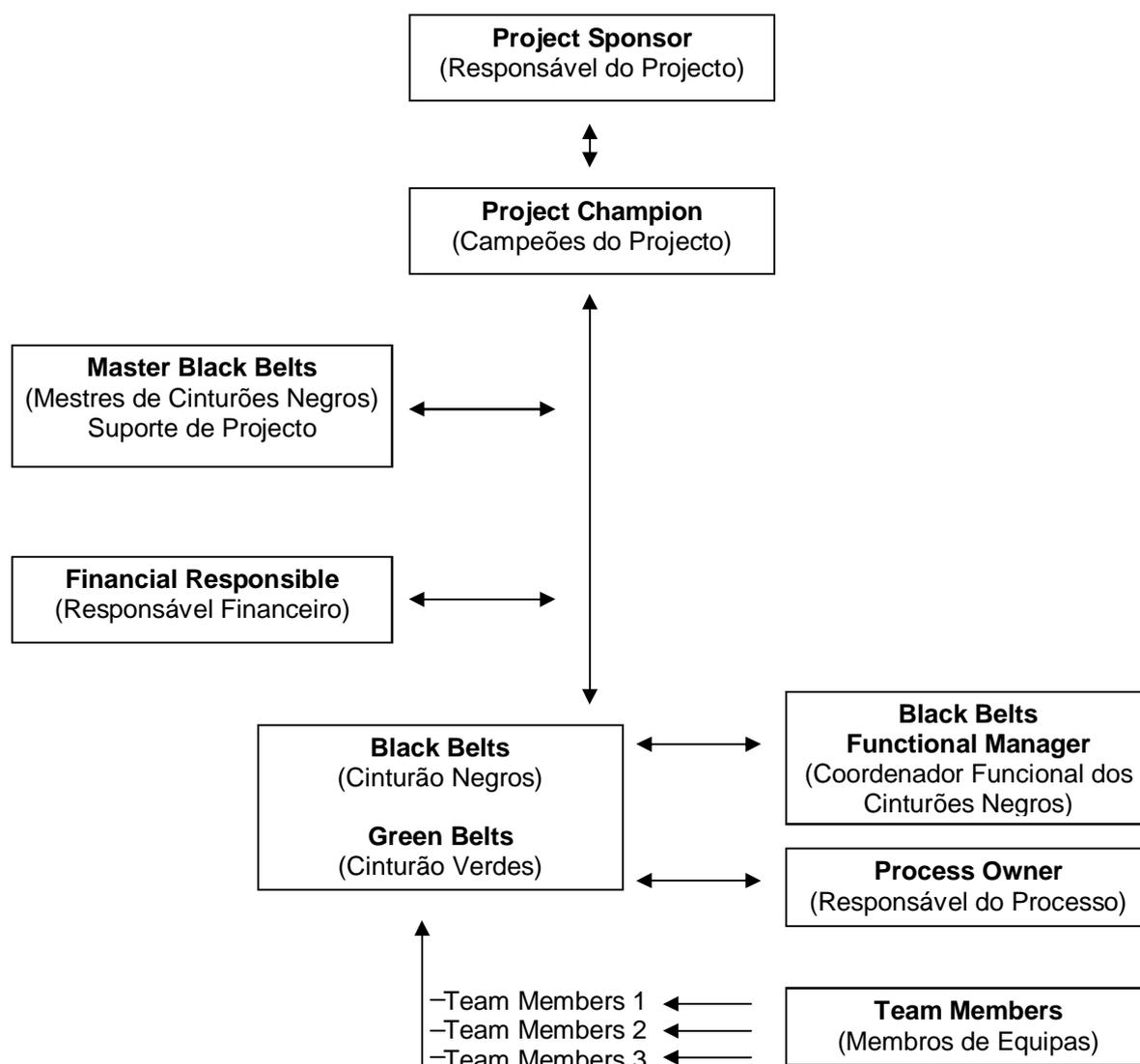


Figura 1.9 – O projecto é o ponto central da actividade Six Sigma.

1.9. DMAIC E DMADV

A filosofia Seis Sigma comporta duas metodologias chave – *DMAIC* e *DMADV* –, inspiradas no ciclo *Plan-Do-Check-Act*, de Deming [2,3,4,11]. A *DMAIC* deve ser utilizada para melhorar os processos já existentes, e consiste em 5 etapas:

- **Define** – definir os processos de melhoria em sintonia com a procura dos clientes e com a estratégia da empresa.
- **Measure** – medir todos os indicadores relevantes para se avaliar o desempenho.
- **Analyse** – analisar os dados obtidos para se determinar as relações causa-efeito das anomalias.
- **Improve** – melhorar os processos através da eliminação dos defeitos.

- **Control** – controlar todas as variáveis em jogo, para se assegurar que os desvios em relação à média são corrigidos antes de se transformarem em defeitos.

Quanto à *DMADV*, também designada por *DFSS – Design For Six Sigma*, é utilizada para criar novos produtos ou processos, e abrange também 5 etapas:

- **Define** – definir os objectivos a atingir em sintonia com a procura dos clientes e com a estratégia da empresa.
- **Measure** – medir e determinar as necessidades e as especificações dos clientes, e identificar as características críticas para a qualidade assim como os riscos.
- **Analyse** – analisar as opções do processo, de modo a irem de encontro à satisfação dos clientes.
- **Design** – projectar em detalhe o produto ou o processo, criando mecanismos de verificação das conformidades.
- **Verify** – verificar o projecto e implementar o processo produtivo.

A filosofia Seis Sigma aproveita uma série de métodos comprovados e treina um pequeno grupo de líderes internos, conhecidos como *Black Belts*, até que atinjam alto nível de eficiência na aplicação de tais técnicas. Com certeza, alguns dos métodos utilizados pelos *Black Belts* são altamente avançados, o que inclui o uso de tecnologia moderna de informática. Contudo, as ferramentas são aplicadas dentro de um modelo simples de melhoria de desempenho conhecido pela sigla DMAIC, análogo ao método de TQM conhecido como PDCA (Planear – Fazer – Controlar - Agir) [12].

1.9.1. Implementação do programa

Actualmente existe um sólido corpo de investigação científica sobre as experiências de milhares de empresas que implementaram grandes programas de qualidade como o Seis Sigma. Os investigadores verificaram que o desdobramento bem sucedido do Seis Sigma consiste em focalizar um pequeno número de itens, estando os seis passos necessários para a sua instalação com sucesso bem documentados:

Passo 1. A melhoria do desempenho deve iniciar-se pela alta liderança, que tem que receber treino sobre os princípios e ferramentas necessárias para preparar a organização para o sucesso. Usando esse conhecimento recém-adquirido, os altos

líderes orientarão o desenvolvimento de uma infra-estrutura com capacidade para apoiar o programa Seis Sigma. Simultaneamente, devem ser dados passos no intuito de preparar a organização e cultivar um ambiente propício à inovação e à criatividade: redução dos níveis hierárquicos, eliminação de procedimentos que barram a experimentação e a mudança, etc.

Passo 2. São desenvolvidos sistemas para estabelecer uma comunicação mais próxima com clientes, funcionários e fornecedores. Isso inclui o desenvolvimento de métodos rigorosos para obter e avaliar informações a seu respeito.

Passo 3. As necessidades de treino são avaliadas com rigor. O ensino para preencher quaisquer lacunas educacionais será ministrado para garantir que os níveis adequados de conhecimento verbal e numérico, seja alcançado por todos os funcionários. É ministrado treino "de cima para baixo" em ferramentas de melhoria de sistemas, técnicas e filosofias.

Passo 4. É desenvolvida uma estrutura para melhoria contínua de processos, junto com um sistema de indicadores para monitorizar o progresso e o sucesso. As métricas do Seis Sigma focalizam metas estratégicas, propulsores de negócios e principais processos.

Passo 5. Os processos industriais que devem ser melhorados são escolhidos pela administração e por pessoas com conhecimento profundo de todos os níveis da organização. Os projectos Seis Sigma são conduzidos para melhorar o desempenho empresarial ligado a resultados financeiros mensuráveis, e isso requer um conhecimento profundo das limitações da empresa.

Passo 6. Os projectos Seis Sigma são conduzidos individualmente por funcionários, as equipas são lideradas por *Green Belts*, e são apoiados por *Black Belts*.

1.10. SIGMA MAGRA

Em 1997 a empresa norte-americana *TBM Consulting Group* [13] desenvolveu e registou como marca a filosofia *Lean Six Sigma* (Seis Sigma Magra), ou apenas *Lean Sigma* (Sigma Magra), que permite aos seus utilizadores actuarem sobre os diversos processos existentes nas empresas, com a finalidade de se atingir uma maior fiabilidade, reduzir os custos de operação, reduzir os prazos de entrega, e melhorar a coordenação entre departamentos, ou seja, aumentar a competitividade. A estratégia adoptada consiste em fazer a conjugação da rapidez de execução da

Lean com a eficácia, a robustez e a profundidade da *Six Sigma*, como se expõe cronologicamente na figura 1.10.

Esta integração é cada vez mais necessária na medida em que a *Six Sigma*, por si só, não consegue melhorar o tempo de ciclo dos processos, e a *Lean*, considerada igualmente de forma isolada, não actua no controlo da variabilidade e da capacidade e “capabilidade” dos processos, assim como não consegue equacionar e otimizar variáveis complexas. Saliente-se que a capacidade de um processo produtivo representa a sua aptidão para conseguir produzir a quantidade de bens previamente estipulada, enquanto que a “capabilidade”, que é um vocábulo que deriva da tradução directa do termo inglês *capability*, e que não existe ainda na língua portuguesa, representa a aptidão do processo em produzir não só a quantidade de bens previamente estipulada, mas também a aptidão em produzi-los de acordo com as especificações de qualidade definidas.

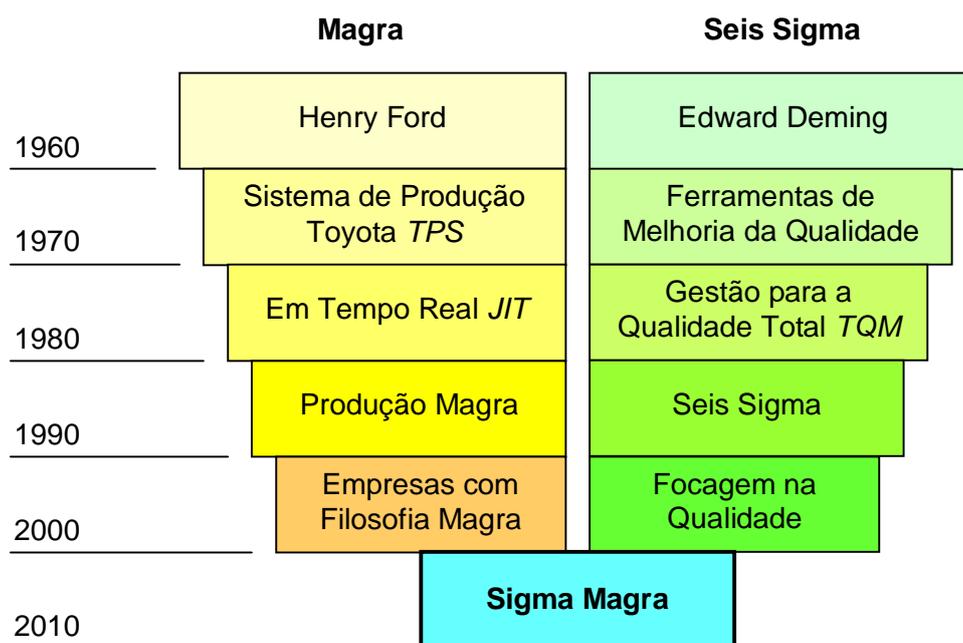


Figura 1.10 – Evolução paralela das filosofias Magra e Seis Sigma.

De acordo com a empresa citada, os tempos de produção reduzem-se de dias para algumas horas, os *stocks* de produtos e de materiais em mais de 90 %, os defeitos e falhas em 50 % ou mais, a produtividade aumenta entre 25 % e 50 %, e o serviço aos clientes em 90 % a 100 %. Saliente-se que a filosofia *Six Sigma* é muito metódica, podendo suceder que a sua completa instalação numa unidade fabril

possa demorar entre 4 a 6 meses, entrando em contradição com a cultura *Lean* de velocidade orientada. Como tal, a empresa em questão criou uma ferramenta de implementação da *Lean Sigma*, que designou por *Sigma Kaizen* (Sigma de Melhoria Contínua), que permite encurtar aquele período para 6 a 8 semanas, daí que a associação entre a *Sigma* e o *Kaizen* permita reduzir drasticamente a instalação da *Six Sigma* [13].

1.10.1 Manutenção Industrial Magra

Como o seu nome indica, a filosofia Manutenção Magra (*Lean Maintenance*) encontra-se integrada nos processos de Produção Magra, obedecendo aos mesmos princípios, e que consistem numa melhoria contínua com o objectivo de eliminar desperdícios, reduzir *stocks*, aumentar a fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, e atingir a meta “zero falhas”. É uma filosofia pró-activa que utiliza simultaneamente as metodologias de planeamento associadas à Manutenção Produtiva Total *TPM*, e as estratégias de detecção e controlo de falhas inerentes à Manutenção Centrada na Fiabilidade *RCM* (figura 1.11).

A característica principal da *TPM* consiste em envolver os recursos humanos da produção activamente na manutenção, explorando o facto do operador ser quem melhor conhece a máquina e, portanto, quem detém uma posição soberana para lhe criar as melhores condições de funcionamento, e para sondar as suas “queixas”, em suma, para proporcionar as melhores condições de prevenção de falhas. O modelo *TPM* gera assim sinergias entre todas as funções organizacionais da empresa, mais concretamente, entre a Produção e a Manutenção, de forma a melhorar continuamente a qualidade dos produtos fabricados, e a aumentar a disponibilidade operacional dos equipamentos e as condições de segurança dos operadores. A essência deste modelo faz ainda com que os operadores trabalhem em colaboração com o pessoal especializado da manutenção, na detecção e reparação de avarias mais complexas, reduzindo assim os custos indirectos da Função Manutenção, redução essa que se traduzirá, em termos globais da empresa, numa melhoria significativa no que respeita aos processos produtivos e às mais valias geradas [14,15].

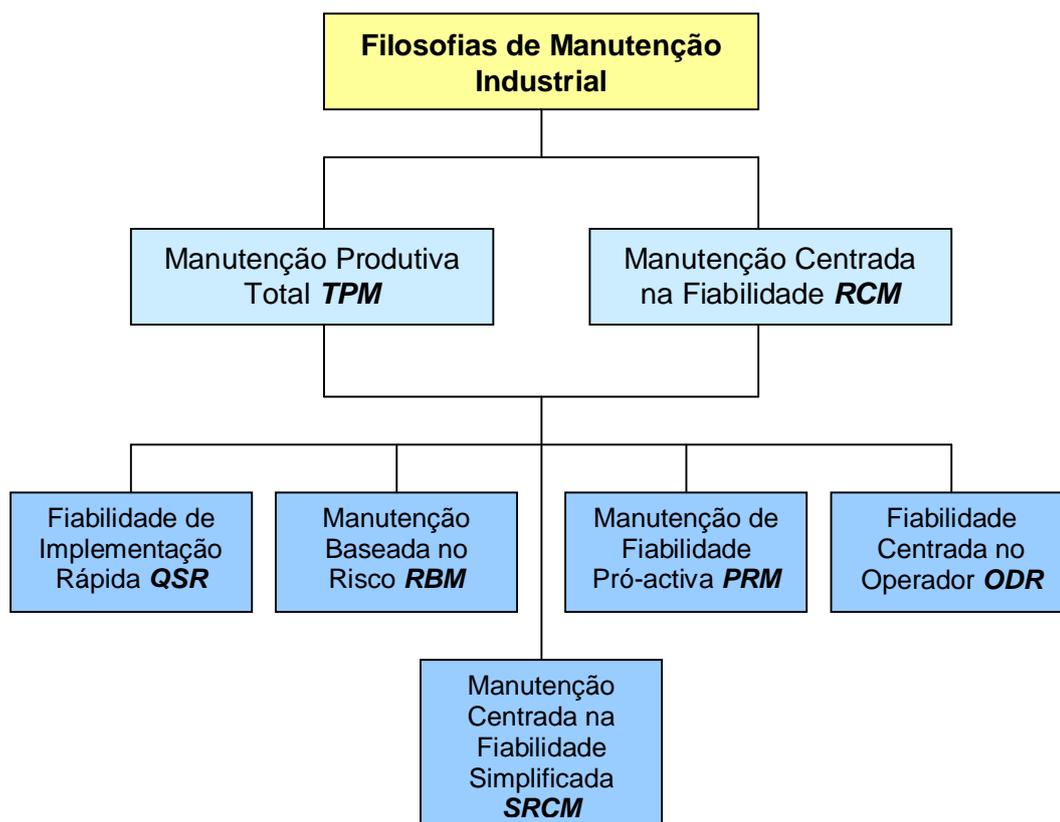


Figura 1.11 – Filosofias (ou modelos) de manutenção industrial.

Quanto à *RCM*, a sua metodologia determina uma convergência de objectivos e de esforços da Função Produção e da Função Manutenção, nomeadamente através do seu envolvimento em trabalho de grupo, o que gera uma dinâmica e uma motivação dos elementos envolvidos, e que, seguramente, contribui para os bons resultados que a sua aplicação tem evidenciado. A implementação deste modelo é concretizada através da constituição de grupos de trabalho multidisciplinares e multifuncionais, constituídos por elementos da Função Produção e da Função Manutenção, provenientes de diversos níveis hierárquicos, com prévia formação geral em *RCM* e nas respectivas técnicas aplicáveis, apoiados por um especialista no modelo, que identificam em primeiro lugar as avarias críticas dos equipamentos, nomeadamente as designadas por “avarias escondidas”, que não afectam de imediato a produção e, como tal, não têm efeitos imediatamente visíveis, mas que podem culminar em graves consequências. É um modelo que se baseia nas seguintes questões básicas de análise, relativamente a todos os equipamentos [16,17]:

- identificação das funções operativas,
- identificação das falhas de funcionamento,
- identificação dos modos, dos efeitos, e das consequências das falhas, através do método *FMECA – Failure Modes Effects and Criticality Analysis* (Consequências dos Tipos de Falhas e Análise das Criticidades),
- definição das actividades de manutenção,
- utilização de políticas de manutenção essencialmente preventivas condicionadas, e melhorativas.

A par dos modelos tradicionais *TPM* e *RCM*, têm vindo a ser desenvolvidas outras filosofias, baseadas nesses mesmos modelos, todavia mais aligeiradas e vocacionadas para as especificidades próprias de cada empresa, como sucede com a Fiabilidade de Implementação Rápida *QSR*, a Manutenção Centrada na Fiabilidade Simplificada *SRCM*, a Manutenção Baseada no Risco *RBM*, a Manutenção de Fiabilidade Pró-activa *PRM*, e a Fiabilidade Centrada no Operador *ODR*, sendo de salientar que estas novas práticas e filosofias têm vindo a ser desenvolvidas e aperfeiçoadas no seio do grupo industrial multinacional *SKF*, através da empresa especializada em serviços de manutenção e gestão de activos, *SKF Reliability Systems* [18,19]. Por exemplo, a *SRCM* representa uma versão aperfeiçoada da *RCM*, com o objectivo de ser um modelo dirigido aos modos de falha dominantes dos equipamentos, e aos seus efeitos significativos, tais como as perdas de produção, a segurança de bens e equipamentos, e os impactos ambientais. A sua grande vantagem consiste na consciencialização dos recursos humanos afectos às linhas de produção, no que respeita às mais valias de uma estratégia de manutenção moderna. Este modelo é particularmente indicado para as situações em que é necessária uma mudança profunda na cultura da manutenção no interior da empresa, sendo igualmente uma boa opção para quem queira recomeçar uma nova era na área da manutenção industrial.

Todos estes modelos englobam em si, sem excepção, as várias políticas de manutenção (figura 1.12), contudo as práticas correctivas deverão ser eliminadas totalmente ou quase, as práticas preventivas sistemáticas deverão ser reduzidas drasticamente, enquanto que as políticas preventivas condicionadas e melhorativas passarão a ser as fundamentais num processo *Lean*.

É interessante salientar que a *Lean Maintenance* foi considerada pela primeira vez na década de 1980, como sendo um programa integrado no *Toyota Production System TPS*, tendo o vocábulo *Lean Manufacturing*, nunca utilizado pela Toyota, sido empregue pela primeira vez por James Womack no seu livro *The Machine That Changed the World*, publicado em 1990 [20]. Por outro lado, a filosofia *Lean Production* encontra-se fortemente associada à Manutenção Produtiva Total, na medida em que nasceram no seio da mesma organização, e utilizam procedimentos comuns como o 5S e o *Kaizen*.

Na prática, para que se disponha de uma verdadeira filosofia de Manutenção Magra, devem-se adoptar os seguintes procedimentos [20,21]:

- **existência de uma política eficiente de gestão de materiais de manutenção** – reduz o inventário dos *stocks*, reduz os tempos de paragem dos equipamentos, limita ao mínimo necessário a área dos armazéns, e aumenta a produtividade dos recursos humanos afectos à manutenção,
- **estabelecimento de um programa efectivo de manutenção preventiva** – é um factor fundamental, devendo o seu peso ser tanto maior quanto mais elevadas forem as criticidades dos equipamentos,
- **existência de uma biblioteca técnica, real ou virtual, sobre manutenção industrial** – as especificações e os manuais técnicos dos equipamentos, assim como outras obras de carácter mais geral, deverão estar acessíveis sempre que sejam necessários,
- **reportar em tempo real todos os problemas que surjam com todos os equipamentos** – informação a ser fornecida pelos supervisores e pelos operadores aos responsáveis pelo planeamento, para que possam, através de um diálogo aberto realizado com recurso aos canais de comunicação mais rápidos e eficientes, resolver os potenciais problemas, recorrendo aos operadores e à engenharia,
- **subcontratação de serviços de manutenção** – prática que deve ser utilizada quando não se dispõe de recursos humanos especializados para desempenharem determinadas tarefas, ou ainda para se minimizarem os custos directos da manutenção,
- **instalação de um sistema de gestão da manutenção assistido por computador** – este sistema deverá ser integrado no sistema informático

global da organização, de modo a que o planeamento da manutenção se enquadre plenamente nos objectivos da produção,

- **existência de um histórico de falhas e reparações de todos os equipamentos** – este histórico, que é fundamental para que se saiba quais os equipamentos críticos assim como todas as falhas e reparações efectuadas, deve fazer parte do sistema informático de gestão, de modo a providenciar todos os dados necessários, quando solicitados,
- **definição de um plano coerente de formação** – os recursos humanos devem ser submetidos permanentemente a acções de formação e actualização, de modo a sentirem-se motivados, contribuindo assim para o aumento da produtividade e da sua própria segurança,
- **existência de uma prática FMECA** – o conhecimento continuado dos modos e efeitos das falhas, assim como dos índices de criticidade dos equipamentos, permite aplicar as medidas de manutenção preventiva mais adequadas e, inclusivamente, nas situações de falhas repetitivas, de manutenção melhorativa,
- **criação de sinergias entre os recursos humanos afectos à produção e à manutenção** – esta cooperação é fundamental, na medida em que o pessoal da produção é responsável pela fiabilidade do processo produtivo, enquanto que o pessoal da manutenção assegura a máxima fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, o que potencia a detecção e correcção de pequenas anomalias pelos operadores,
- **existência de vontade** – é necessário que haja a vontade de se implementarem filosofias e políticas de manutenção que conduzam a uma melhoria dos serviços e à redução de custos directos e indirectos,
- **criação de mecanismos de qualidade** – têm como objectivo avaliar a eficiência dos serviços de manutenção, através dos indicadores mais adequados, tendo em atenção que a qualidade desses serviços se encontra relacionada com a competência dos recursos humanos, com os custos directos e indirectos, e com a disponibilidade dos equipamentos, devendo ainda ter-se em conta que é fundamental, para os equipamentos, a aplicação da metodologia *RAMS* – *Reliability, Availability, Maintainability, Security* (Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade, Segurança),

- **existência de recursos humanos altamente qualificados** – estes recursos são essenciais para que se possam adoptar práticas *Lean*, na medida em que exigem um elevado nível de capacidades e conhecimentos, e uma pré-disposição para se submeterem a planos coordenados de formação contínua,
- **utilização conveniente de tecnologias de manutenção** – devem-se utilizar os processos e os equipamentos mais adequados, do ponto de vista tecnológico, não só como meios de diagnóstico mas também para as intervenções de manutenção, encarando o custo desses equipamentos não como uma despesa mas sim como um investimento rentável, com retornos de mais valias assegurados através do processo produtivo,
- **redução de documentos em papel** – deve-se utilizar preferencialmente os canais informáticos, nos gabinetes de planeamento e gestão das actividades de manutenção, definindo claramente, por exemplo, a cadeia de realização de tarefas (*work flow*), como se esquematiza na figura 1.13.

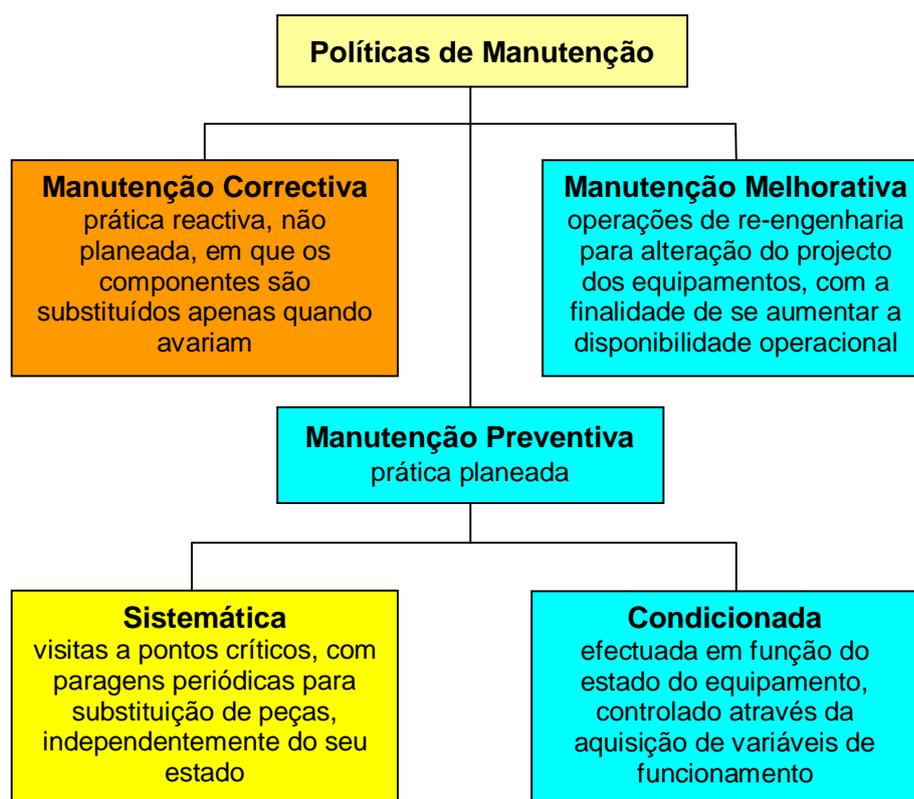


Figura 1.12 – Políticas de manutenção industrial.

A aplicação conjugada destes princípios de manutenção industrial, com as filosofias *Lean* e *Sigma*, conduz a resultados de exploração caracterizados por uma melhoria contínua, com uma permanente optimização da eficiência dos activos [22,23,24,25].

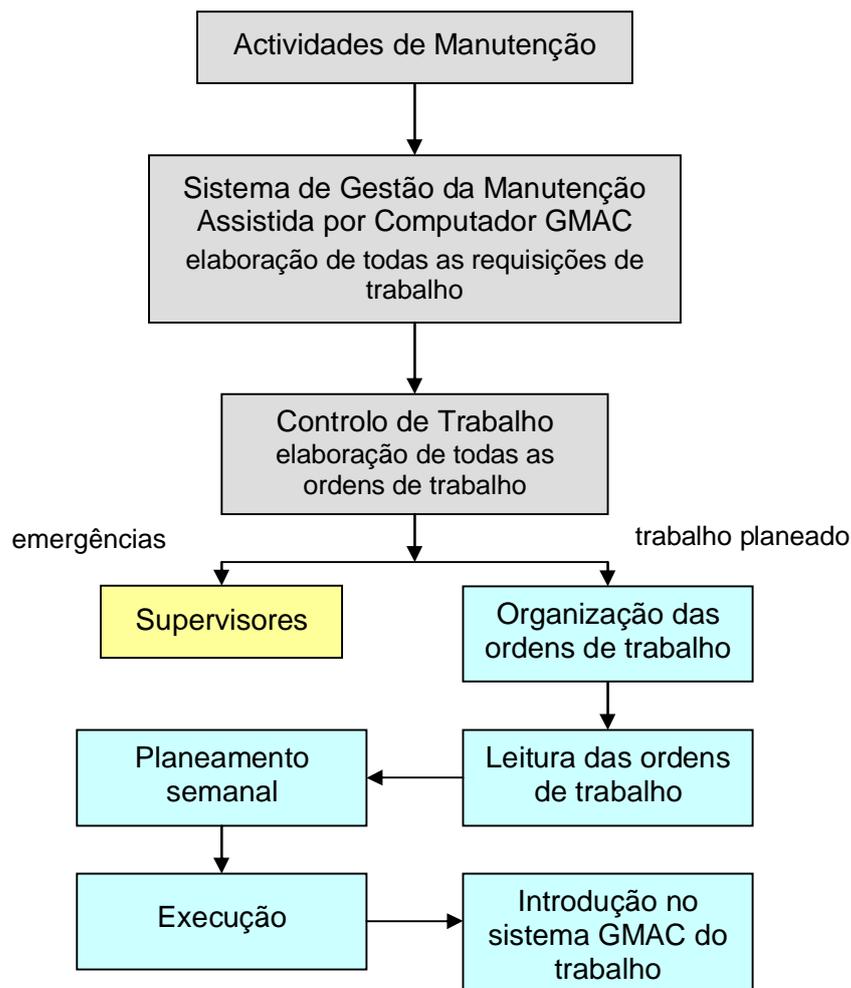


Figura 1.13 – Cadeia de realização de operações de manutenção.

De um modo geral, a filosofia *Lean Maintenance* apoia-se nas seguintes metodologias [20,21]:

- utilização dos modelos principais de manutenção *TPM* e *RCM*, assim como dos seus modelos derivados e complementares,
- optimização da eficiência global dos equipamentos e das linhas de produção,
- optimização da eficiência dos activos, materiais e humanos,
- utilização da metodologia 5S,
- definição normalizada das actividades de manutenção,
- circulação da informação técnica e administrativa em tempo real, de preferência em suporte informático,
- utilização da metodologia *Poka-Yoke*, que consiste em criar procedimentos isentos e à prova de erros,

com o objectivo de se conseguirem os seguintes resultados:

- disponibilidade total dos equipamentos e das linhas de produção,
- fiabilidade absoluta dos equipamentos e dos processos produtivos,
- controlabilidade perfeita das metodologias e actividades associadas à manutenção, assim como do desempenho de todos os equipamentos,
- produção com qualidade máxima, isenta de falhas aleatórias.

1.11. SIX SIGMA BUSINESS SCORECARD

1.11.1. Características gerais

Do mesmo modo que surgiu a filosofia *Lean Sigma* (Sigma Magra), também em 2004 Praveen Gupta propôs esta nova filosofia [9] que, na língua portuguesa, se poderá designar como Carta de Registo de Negócios Seis Sigma [8], e que resulta da associação entre a Seis Sigma e a *Balanced Scorecard* (Carta de Registo Balanceada), tendo como finalidade a análise e a melhoria do desempenho financeiro e de negócios das organizações, com base nos níveis Seis Sigma. A *Balanced Scorecard* é um processo de melhoria contínua, desenvolvido pelos economistas americanos Robert Kaplan e David Norton (*The Harvard Business Review*, 1991), que permite avaliar e analisar o desempenho das organizações tendo como base a estratégia previamente definida, desempenho esse que é contabilizado através de indicadores relacionados com a situação financeira, com os processos produtivos ou de serviços, com os clientes, com os fornecedores, com a estratégia de desenvolvimento, e com os seus recursos humanos.

A *Six Sigma Business Scorecard*, que, ao cabo e ao resto, quantifica os indicadores de desempenho associados à *Balanced Scorecard* através dos níveis Seis Sigma, de acordo com o quadro 1.5 para operações de longo prazo, representa assim uma nova filosofia que permite medir por meio dos níveis sigma o desempenho financeiro e de negócios das organizações, conferindo à administração a possibilidade de monitorizar esse desempenho face à estratégia previamente definida, e delinear as respectivas melhorias. Como se verá seguidamente, Gupta [9] propõe um indicador, denominado *Business Performance Index* (Índice de Desempenho de Negócios), como sendo uma medida relativa de desempenho, e que permite, por sua vez, determinar o correspondente nível Seis Sigma. Por outro lado, esta filosofia apresenta as seguintes características [9]:

- maximiza a rentabilidade e o desenvolvimento, e reduz os custos dos processos,
- acelera os processos de melhoria contínua,
- promove e estimula a participação de todos os recursos humanos no desenvolvimento das organizações,
- força as mudanças culturais no interior das organizações, numa base de melhoria contínua,
- é conduzida pela administração, que é responsável pela estratégia, pelo planeamento, e pela rentabilidade,
- é controlada pelos directores dos diversos departamentos, que melhoram os processos e reduzem os respectivos custos,
- é melhorada pelos colaboradores que têm como função desenvolverem soluções inovadoras, indo de encontro às necessidades dos clientes, aumentando assim a sua satisfação,
- é sedimentada pelos serviços de vendas e de apoio aos clientes, que aumentam o volume de vendas e conquistam novos mercados, através de uma relação baseada na plena satisfação.

De acordo com [9], para a correcta instalação da *Six Sigma Business Scorecard* deverão ser observados os seguintes 19 passos sequenciais:

1. entender claramente o significado da filosofia,
2. fazer sentir que esta filosofia corresponde à miscigenação da Seis Sigma com os objectivos de negócios da organização,
3. criar o indicador Índice de Desempenho de Negócios,
4. estabelecer os objectivos de melhoria a curto e a longo prazo para todos os centros de lucro da organização,
5. estabelecer os parâmetros de medição para todos os centros de lucro,
6. estabelecer a relação entre a produtividade e os valores dos parâmetros medidos,
7. desenvolver uma política de utilização de tecnologia de ponta para automatização dos sistemas de aquisição e análise de dados,
8. estabelecer um sistema agregado de *Six Sigma Business Scorecard*, que envolva a totalidade dos centros de lucro,
9. identificar os processos-chave de melhoria do desempenho,

10. identificar todos os parâmetros associados aos processos, a montante, de execução, e a jusante,
11. estabelecer métodos de recolha de dados para esses parâmetros,
12. coligir e analisar os dados obtidos, e calcular as taxas de erro, os tempos de ciclo, e os custos associados a cada departamento,
13. elaborar as cartas de tendência e apresentar os dados respeitantes aos objectivos a alcançar, de preferência com uma periodicidade semanal,
14. publicar internamente o Índice de Desempenho de Negócios semanal, assim como os relatórios mensais de progresso,
15. rever o desempenho de negócios a partir dos resultados obtidos, e tendo como base os objectivos iniciais,
16. identificar os indicadores que apresentem uma elevada variância e um desempenho adverso face aos objectivos iniciais,
17. investigar as causas das elevadas variâncias e das perdas onde elas aconteçam,
18. desenvolver as acções curativas de melhoria do desempenho,
19. monitorizar o impacto das melhorias no Índice de Desempenho de Negócios e na rentabilidade.

1.11.2. Determinação do Nível Seis Sigma

1.11.2.1. Grandes e Médias Empresas

Para se compreender a metodologia de determinação do nível Seis Sigma para esta filosofia, apresenta-se no quadro 1.7 um exemplo numérico prático baseado em [8,9], para grandes e médias organizações. O figurino deste quadro corresponde assim à Ficha de Registo de Negócios, isto é, à *Business Scorecard*, que deverá ser elaborada para um determinado período temporal previamente definido, por exemplo um mês, um trimestre ou um semestre, devendo seguir-se os seguintes passos para a sua elaboração:

- **Definição dos indicadores a medir:** usualmente utilizam-se os 10 indicadores discriminados na coluna 1, na medida em que permitem caracterizar todas as vertentes de funcionamento e de desenvolvimento das organizações, de acordo com Gupta [9].
- **Definição dos pesos dos indicadores:** estes pesos P_n são atribuídos a cada indicador em função da especificidade de cada um e da sua

importância no desenvolvimento da organização, devendo a sua soma ser igual a 100. Os valores expostos no quadro 1 correspondem aos recomendados por Gupta [9], sendo baseados na prática empresarial.

- **Definição do desempenho de cada indicador:** para cada um dos n indicadores, este desempenho, para o período temporal em análise, poderá ser determinado percentualmente em função do desempenho teórico previamente definido, ou seja, através do seguinte rácio:

$$R_n = \frac{\text{desempenho obtido} \times 100}{\text{desempenho previamente definido}}$$

Para esta possível opção, a obtenção do valor numérico deste rácio é relativamente fácil, todavia Gupta [9] recomenda que sejam adoptados os valores que se mostram no quadro 1.8. Esta segunda opção, que deverá ser aquela a seguir, permite diferenciar de uma forma mais clara e concisa um bom de um mau desempenho, para cada um dos 10 indicadores medidos, como se verá mais adiante de uma forma mais evidente, na elaboração da *Maintenance Scorecard* para a Manutenção Seis Sigma.

- **Determinação dos Índices de Desempenho de Negócios Parciais:** para cada um dos n indicadores, estes índices parciais são calculados por meio da seguinte expressão:

$$IDNP_n = \frac{P_n \times D_n}{100}$$

- **Determinação do Índice de Desempenho de Negócios:** é calculado pela expressão:

$$IDN = \sum_{n=1}^{10} IDNP_n$$

- **Determinação do número de Defeitos Por Unidade *DPU*:** a partir do valor de *IDN* o cálculo de *DPU* para a *Six Sigma Business Scorecard* é efectuado através da seguinte expressão, na medida em que $IDN/100$ deverá ser entendido, para a globalidade de uma organização, como sendo um *Rolled Throughput Yield RTY*:

$$DPU_B = -\ln\left(\frac{IDN}{100}\right)$$

- **Determinação do número de Defeitos Por Milhão de Oportunidades *DPM*:** na definição de *DPMO* o denominador surge como sendo o *número total de oportunidades de defeito ou de erro*, isto é, o número total de possibilidades de se terem defeitos ou de se cometerem erros. Na situação da *Six Sigma Business Scorecard* as oportunidades de erro correspondem ao número de administradores executivos com poder de decisão, na medida em que as tomadas de decisão, assim como a condução superior dos negócios e a definição das respectivas estratégias de desenvolvimento são da sua exclusiva responsabilidade, tendo-se assim:

$$DPMO_B = \frac{DPU_B \times 10^6}{\text{número de administradores executivos}}$$

Note-se que, para um determinado desempenho contabilizado através de DPU_B , quanto mais reduzido for o número de executivos com poder decisório, mais elevado será $DPMO_B$ e, conseqüentemente, mais baixo será o nível Seis Sigma. Esta relação compreende-se facilmente, na medida em que, se se consegue atingir um dado nível de DPU_B com um número mais elevado de executivos, ou seja, com um maior número de possibilidades de erro, significa que, na prática, as decisões erradas que foram tomadas nos processos de melhoria contínua dos 10 indicadores medidos, são inferiores às que se teriam com um número menor de executivos. Por conseguinte, para um mesmo valor de DPU_B alcançado, quanto maior for o número de executivos, mais reduzido terá de ser o número de decisões erradas a tomar.

- **Determinação do nível Seis Sigma:** o cálculo dos diversos níveis sigma é realizado recorrendo-se à distribuição normal padrão e à respectiva tabela de probabilidades, jogando numericamente com os *DPMO* e com as respectivas áreas abrangidas por aquela distribuição, efectuando-se as correspondentes equivalências, como se discrimina de uma forma detalhada em [8]:

$$A_{eq} = DPM_B \times 10^{-6}$$

$$A(Z_{eq}) = 1 - A_{eq}$$

$$P(Z < Z_{eq}) = A(Z_{eq})$$

$$m = Z_{eq}$$

$$\text{nível Seis Sigma} = m + 1,5$$

Como se constata, estes cálculos são realizados recorrendo-se à distribuição normal padrão e à respectiva tabela de probabilidades. Na prática, para se simplificar a determinação do nível Seis Sigma, é de todo aconselhável a construção de um quadro que relacione directamente os níveis Seis Sigma, de 1 a 6, com os *DPMO*, como se esquematiza em [6], obtendo-se assim o quadro 1.9. Para os níveis calculados com a sua parte decimal à centésima ou à milésima, por exemplo 3,25, os respectivos *DPMO* poderão ser determinados, sem erro significativo, através de interpolação linear.

Da análise dos valores expostos no quadro 1.7 assim como das fórmulas que estão na sua origem, facilmente se constata que, quanto melhores forem os desempenhos relativos aos 10 indicadores, mais elevados serão os níveis sigma, ou seja, melhor será a situação financeira global da organização. A situação ideal corresponderia a terem-se todos os indicadores D_n iguais a 100 %, ou seja, um desempenho pleno em todas as vertentes, conduzindo a zero $DPMO_B$. Note-se que o somatório dos pesos tem que ser igual a 100, para que, se os indicadores D_n fossem todos iguais a 100 %, se tivesse o valor máximo possível para IDN , isto é, 100 %. Contudo, na prática, esta situação é quase impossível de se atingir, mostrando-se no quadro 1.10 os valores máximos e mínimos que se conseguem obter para os DPU_B de acordo com o quadro 1.7, e no quadro 1.11 os limites dos $DPMO_B$ em função do número de executivos.

Indicadores medidos	P_n	D_n	$IDNP_n$
M1. Número de colaboradores de excelência	15	75	11,25
M2. Rentabilidade	15	80	12
M3. Taxa de melhorias dos processos	20	80	16
M4. Recomendações por colaborador	10	100	10
M5. Rácio gastos totais/volume de vendas	5	75	3,75
M6. Taxa de defeitos dos fornecedores	5	75	3,75
M7. Variância do tempo de ciclo operacional	5	100	5
M8. Taxa de defeitos dos processos	5	75	3,75
M9. Rácio novos negócios/volume de vendas	10	100	10
M10. Satisfação dos clientes	10	90	9
Cálculos			
IDN	84,5 %		
DPU_B	0,1684		
número de executivos	10		
$DPMO_B$	16840		
A_{eq}	0,01684		
$A(Z_{eq})$	0,98316		
m	2,124		
nível Seis Sigma	3,624 (3,62)		

Quadro 1.7 – Exemplo numérico prático de determinação do nível Seis Sigma para a filosofia *Six Sigma Business Scorecard*, aplicada a médias e grandes empresas (*Business Scorecard*).

Indicadores medidos		D_n
M1. Número de colaboradores de excelência (% de colaboradores)	0,2 %	25
	0,5 %	50
	2 %	75
	> 5 %	100
M2. Rentabilidade (% de aumento dos lucros)	2 %	50
	4 %	60
	8 %	80
	> 12 %	100
M3. Taxa de melhorias dos processos	< 20 %	50
	30 %	60
	40 %	80
	> 50 %	100
M4. Recomendações por colaborador	0,5	50
	1	60
	2	70
	> 5	100
M5. Rácio gastos totais/volume de vendas	> 60 %	30
	45 %	50
	35 %	75
	< 25 %	100
M6. Taxa de defeitos dos fornecedores (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M7. Variância do tempo de ciclo operacional	> 50 %	25
	40 %	50
	25 %	75
	< 10 %	100
M8. Taxa de defeitos dos processos (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M9. Rácio novos negócios/volume de vendas	20 %	25
	30 %	50
	40 %	75
	50 %	100
M10. Satisfação dos clientes	80 %	60
	85 %	70
	90 %	80
	100 %	90

Quadro 1.8 – Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos (médias e grandes empresas).

Níveis	DPMO	Níveis	DPMO	Níveis	DPMO
1	690000	2,7	115100	4,4	1866
1,1	655422	2,8	96800	4,5	1350
1,2	617911	2,9	80757	4,6	968
1,3	579260	3	66800	4,7	686
1,4	539828	3,1	54799	4,8	483
1,5	500000	3,2	44565	4,9	337
1,6	460172	3,3	35930	5	230
1,7	420740	3,4	28717	5,1	159
1,8	382088	3,5	22750	5,2	108
1,9	344578	3,6	17865	5,3	72
2	308000	3,7	13904	5,4	48
2,1	274253	3,8	10724	5,5	32
2,2	241964	3,9	8198	5,6	21
2,3	211856	4	6210	5,7	13
2,4	184100	4,1	4661	5,8	9
2,5	158655	4,2	3467	5,9	5
2,6	135666	4,3	2555	6	3,4

Quadro 1.9 – Correspondência entre os níveis Seis Sigma e os DPMO.

Indicadores medidos	P_n	Máximos		Mínimos	
		D_n	$IDNP_n$	D_n	$IDNP_n$
M1	15	100	15	25	3,75
M2	15	100	15	50	7,5
M3	20	100	20	50	10
M4	10	100	10	50	5
M5	5	100	5	30	1,5
M6	5	100	5	25	1,25
M7	5	100	5	25	1,25
M8	5	100	5	25	1,25
M9	10	100	10	25	2,5
M10	10	90	9	60	6
Cálculos					
IDN		99 %		40 %	
DPU_B		0,0101		0,9163	

Quadro 1.10 – Valores limites máximo e mínimo dos DPU_B .

Cálculos	Máximos	Mínimos
DPU_B	0,0101	0,9163
<i>número de executivos</i> $DPMO_B$ nível Seis Sigma	10	
	1010	91630
	4,59	2,83
	12	
	842	76358
	4,64	2,93
	14	
	721	65450
	4,69	3,01
	16	
	631	57269
	4,73	3,08
	18	
	561	50906
	4,76	3,14
	22	
459	41650	
4,82	3,23	

Quadro 1.11 – Valores limites máximos e mínimos dos níveis Seis Sigma.

Da análise dos valores expostos nos quadros 1.10 e 1.11, constata-se que, na prática, devido ao facto de se ter $D_n = 90$ em lugar de 100, para o desempenho máximo do indicador M10, torna-se impossível que o nível Seis Sigma consiga ser igual a seis.

1.11.2.2. Exemplo das Empresas *Dow Jones*

Nos Estados Unidos, o *Dow Jones Industrial Average*, designado apenas por *Dow*, é um índice de desempenho de negócios bem conhecido, que é influenciado pelo desempenho das organizações listadas assim como pela percepção dos seus accionistas. Na prática, este índice representa o desempenho de uma amostra de grandes grupos empresariais, representativos da economia e do mercado bolsista norte-americano [9]. No quadro 1.12 indicam-se as 30 organizações listadas no *Dow Jones Index*, designado comumente por *Dow 30*, sendo representativas de 10 sectores de actividade económica, incluindo a indústria, tecnologia, telecomunicações, finanças, retalho, e cuidados de saúde. Em termos operacionais,

18 são grupos industriais, 5 são de distribuição, 3 de serviços, 3 de finanças, e 1 de *software* [9].

Gupta [9], a partir dos indicadores de negócios relativos a cada um destes grupos económicos, procedeu à aplicação da *Six Sigma Business Scorecard* a cada um deles, mostrando-se no quadro 1.13 os resultados obtidos para o conjunto das 30 organizações, em termos de máximos, mínimos, médias, amplitudes de variação e medianas, para cada um dos índices de desempenho de negócios parciais $IDNP_n$, correspondentes aos 10 indicadores medidos M_n , assim como para os IDN , DPU_B , número de administradores executivos, $DPMO_B$ e níveis sigma.

Organizações	Sector	Organizações	Sector
Alcoa	indústria	Intel	indústria
American Express	finanças	IBM	indústria
AT&T	serviços	International Paper	indústria
Boeing	indústria	Johnson & Johnson	indústria
Caterpillar	indústria	J. P. Morgan Chase	finanças
Citigroup	finanças	McDonalds	distribuição
Coca Cola	distribuição	Merck & Co.	indústria
Dupont	indústria	Microsoft	software
Eastman Kodak	indústria	3M	indústria
Exxon	indústria	Phillip Morris	distribuição
General Electric	indústria	Proctor & Gamble	indústria
General Motors	indústria	SBC Communication	serviços
Hewlett-Packard	indústria	United Technology	indústria
Home Depot	serviços	Walt Disney	distribuição
Honeywell International	indústria	Wal-Mart	distribuição

Quadro 1.12 – Organizações americanas do *Dow Jones Index* (2004).

Como se pode constatar no quadro 1.13, o nível sigma mais baixo é de 3,06, enquanto que o mais elevado é de 4,02, o que prova que, mesmo para grupos com dimensão gigantesca, com uma gestão e organização efficientíssimas, é difícil conseguirem-se níveis sigma superiores a 4, daí que, na nossa opinião, se possa afirmar que uma empresa 3,6 sigma (valor médio e mediana) se possa considerar

muito boa, no seu desempenho de negócios global, devendo contudo encetar processos de melhoria contínua, para aumentar ainda mais esse nível.

Mn	IDNP _n	IDNP _n				
		máximos	mínimos	amplitudes	médias	medianas
M1	IDNP ₁	11,82	8,49	3,33	10,29	10,2
M2	IDNP ₂	15	0	15	10,85	12
M3	IDNP ₃	15,94	6,48	9,46	13,57	14,18
M4	IDNP ₄	8,7	3,67	5,03	6,91	6,99
M5	IDNP ₅	5	1,5	3,5	2,53	2
M6	IDNP ₆	4,93	4,67	0,26	4,85	4,85
M7	IDNP ₇	5	1,5	3,5	4,47	5
M8	IDNP ₈	4,38	2,52	1,86	3,7	3,72
M9	IDNP ₉	8,81	4,21	4,6	6,61	6,47
M10	IDNP ₁₀	9,87	9,34	0,53	9,7	9,71
IDN		84,3 %	53,59 %	30,71 %	73,46 %	76,27 %
DPU_B		0,6238	0,1708	0,453	0,3	0,27
executivos		39	9	30	20	17
DPMO_B		58435	5774	52661	19095	17209
níveis Sigma		4,02	3,06	0,96	3,62	3,61

Quadro 1.13 – Resultados globais das *Business Scorecards* relativas às 30 organizações americanas do *Dow Jones Index* (2004).

No quadro 1.14 calculam-se ainda os respectivos valores máximos e mínimos dos desempenhos dos indicadores medidos, para que se possa ter uma ideia mais concisa desses valores tomando como referência os valores recomendados expostos no quadro 1.8. Curiosamente, como se constata facilmente no que respeita ao indicador M10, Gupta [9] considerou que a satisfação total dos clientes (100 %) correspondeu a $D_n = 100$ e não a 90, como indica no quadro 1.8. Esta valorização é perfeitamente pertinente, na medida em que, para grupos com esta dimensão e

importância, a satisfação plena dos clientes é fundamental, como se prova através dos valores máximo e mínimo desse indicador.

Mn	P_n	Máximos		Mínimos	
		$IDNP_n$	D_n	$IDNP_n$	D_n
M1	15	11,82	78,8	8,49	56,6
M2	15	15	100	0	0
M3	20	15,94	79,7	6,48	32,4
M4	10	8,7	87	3,67	36,7
M5	5	5	100	1,5	30
M6	5	4,93	98,6	4,67	93,4
M7	5	5	100	1,5	30
M8	5	4,38	87,6	2,52	50,4
M9	10	8,81	88,1	4,21	42,1
M10	10	9,87	98,7	9,34	93,4

Quadro 1.14 – Resultados globais do desempenho dos indicadores medidos, relativos às 30 organizações americanas do *Dow Jones Index* (2004).

1.11.2.3. Pequenas Empresas

De um modo geral, o espírito vigente nas administrações das pequenas empresas é que a implementação de sistemas de avaliação do seu desempenho, com a finalidade de se melhorar os seus processos produtivos, é pura perda de tempo e de dinheiro, sendo a sua percepção de que esses sistemas funcionam muito bem apenas nas grandes organizações, públicas e privadas, enquanto que nas pequenas empresas se considera injustificada a sua adopção, devido ao esforço e recursos financeiros exigidos, sobretudo se não existirem actividades industriais de produção de bens. Contudo, esta mentalidade deverá ser revista, na medida em que, por exemplo, a *Six Sigma Business Scorecard* pode ser aplicada a todo o tipo de empresas, independentemente da sua dimensão e do sector de actividade, permitindo, em função das métricas utilizadas, definir e encetar processos de melhoria contínua de modo a aumentar a rentabilidade do seu desempenho, devendo, assim, ser entendida como uma ferramenta poderosa para as pequenas empresas que pretendam aproveitar todas as oportunidades de desenvolvimento. Adaptando os 19 passos gerais de implementação da *Six Sigma Business Scorecard*

expostos anteriormente, para as organizações de pequena dimensão deverão ser observadas as seguintes sete linhas de orientação [9]:

1. Designação de um quadro especialista como responsável da implementação, da condução e da manutenção de todo o processo.
2. Estabelecimento de mecanismos de recolha e de armazenamento de dados.
3. Definição dos procedimentos de análise dos dados obtidos e calculados, utilizando meios informáticos.
4. Análise dos dados e adopção atempada das acções necessárias.
5. Estabelecimento de uma periodicidade mensal para análise da *Six Sigma*.
6. Análise dos indicadores medidos e estabelecimento da correlação com a rentabilidade e o desenvolvimento dos negócios.
7. Adopção das medidas mais convenientes para a melhoria contínua da rentabilidade e do desenvolvimento dos negócios.

Na prática, a adopção desta filosofia poderá inclusivamente ser mais fácil em relação ao que sucede nos grandes grupos, na medida em que as pequenas empresas têm um sistema de administração mais simplificado, as linhas de produção conseguem ser melhor controladas, e existe um relacionamento mais directo entre todos os recursos humanos. Além disso, deve-se dar um peso mais significativo aos indicadores directamente relacionados com o desempenho físico, em detrimento dos mais subjectivos, associados ao reconhecimento dos recursos humanos e às melhorias dos processos, que deverão ser levados em linha de conta apenas como orientações a seguir, como se discrimina no quadro 1.15 [9]. Outro aspecto a salientar é que muitas pequenas empresas são arrastadas para a *Six Sigma Business Scorecard* pelos grandes grupos para quem trabalham, e que já adoptaram com sucesso essa filosofia.

Quanto à determinação do nível Seis Sigma, a metodologia a seguir é exactamente a mesma que se utiliza para as grandes e médias empresas, residindo a diferença no número de indicadores medidos e nos respectivos pesos, ou seja, os indicadores M1, M3 e M4 deixam de ser considerados numericamente passando a ser levados em consideração apenas de uma forma qualitativa, tendo sido aumentados os pesos de todos os restantes indicadores exceptuando o de M9, que se manteve igual. Por sua vez, apresenta-se no quadro 1.16 um exemplo prático de elaboração de uma *Business Scorecard* para uma pequena empresa, com cinco administradores executivos, nas situações extremas de desempenho máximo e mínimo. Tal como

sucede para as médias e grandes empresas, devido à mesma situação relativa ao indicador M10, não se consegue obter o nível Seis Sigma máximo, isto é, igual a 6. Saliente-se que os valores expostos nos quadros 1.8 e 1.15 são recomendados por Gupta [9], contudo poderão ser alterados em função dos objectivos e das especificidades de cada empresa.

Indicadores medidos		D_n
M1. Número de colaboradores de excelência	orientações a seguir	
M2. Rentabilidade (% de aumento dos lucros)	2 %	50
	4 %	60
	8 %	80
	> 12 %	100
M3. Taxa de melhorias dos processos	orientações a seguir	
M4. Recomendações por colaborador	orientações a seguir	
M5. Rácio gastos totais/volume de vendas	> 60 %	30
	45 %	50
	35 %	75
	< 25 %	100
M6. Taxa de defeitos dos fornecedores (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M7. Variância do tempo de ciclo operacional	> 50 %	25
	40 %	50
	25 %	75
	< 10 %	100
M8. Taxa de defeitos dos processos (níveis seis sigma)	< 3 sigma	25
	4 sigma	50
	5 sigma	75
	> 6 sigma	100
M9. Rácio novos negócios/volume de vendas	20 %	25
	30 %	50
	40 %	75
	50 %	100
M10. Satisfação dos clientes	80 %	60
	85 %	70
	90 %	80
	100 %	90

Quadro 1.15 – Valores recomendados para os rácios de desempenho dos indicadores medidos (pequenas empresas).

Indicadores medidos	P_n	Máximos		Mínimos	
		D_n	$IDNP_n$	D_n	$IDNP_n$
M2	30	100	30	50	15
M5	10	100	10	30	3
M6	10	100	10	25	2,5
M7	10	100	10	25	2,5
M8	10	100	10	25	2,5
M9	10	100	10	25	2,5
M10	20	90	18	60	12
Cálculos					
IDN		98 %		40 %	
DPU_B		0,0202		0,9163	
número de executivos		5			
$DPMO_B$		4040		183260	
nível Seis Sigma		4,152 (4,15)		2,403 (2,4)	

Quadro 1.16 – Exemplo numérico prático de determinação do nível Seis Sigma para a filosofia *Six Sigma Business Scorecard*, aplicada a pequenas empresas (*Business Scorecard*).

1.12. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL SEIS SIGMA

1.12.1. Características gerais

Por analogia com a *Six Sigma Business Scorecard*, a Manutenção Seis Sigma representa igualmente um processo de melhoria contínua, sem desperdícios, que permitirá analisar e melhorar o desempenho das actividades de manutenção com base nos níveis Seis Sigma, face aos objectivos previamente definidos, e delinear a *posteriori* as respectivas melhorias a adoptar. De um modo geral, esta filosofia deverá apresentar as seguintes características, para que se consiga atingir a meta “zero falhas” [9,21,26,27,28,29]:

- utilização de políticas de manutenção essencialmente preventivas e melhorativas,
- maximização da rentabilidade e da eficiência dessas políticas, reduzindo os custos das intervenções,

- aceleração dos processos de melhoria contínua, com uma transição rápida e eficiente das políticas correctivas e reactivas para uma nova cultura suportada por políticas preventivas e melhorativas,
- promoção e estimulação da participação de todos os recursos humanos na implementação e no desenvolvimento das metodologias Seis Sigma, aproveitando as bases da Manutenção Produtiva Total *TPM*, assim como de outros modelos de manutenção, que envolvem directamente os operadores dos equipamentos com o objectivo de se evitarem desperdícios de tempo e de recursos materiais e humanos,
- forçar as mudanças culturais na estrutura dos serviços afectos à Função Manutenção, numa base de melhoria contínua,
- deverá ser conduzida pela administração, que é responsável pela estratégia, pelo planeamento, e pela rentabilidade da organização, mas com a participação de todos,
- deverá ser controlada pelo director do Departamento de Manutenção, em colaboração directa com o director do Departamento de Produção,
- deverá ser melhorada continuamente pelos restantes recursos humanos afectos a esses dois departamentos,
- promoção de uma atitude de formação contínua, de modo a estimular todos os recursos humanos, para que se sintam cada vez mais responsáveis e que possam assim contribuir para o desenvolvimento de soluções inovadoras, indo de encontro às necessidades produtivas,
- adopção das políticas mais convenientes no que respeita à gestão de materiais, de modo a evitar-se a existência não só de armazéns sobredimensionados mas também de recursos administrativos desnecessários,
- utilização de meios de diagnóstico adequados, tecnologicamente desenvolvidos, e de uma rede de aquisição e processamento de dados em tempo real,
- utilização de meios informáticos como suporte a todas as actividades, técnicas e administrativas, inerentes à Função Manutenção.

1.12.2. Implementação

Seguindo as linhas orientadoras da *Six Sigma Business Scorecard* [9], deverão ser observados os seguintes 15 passos sequenciais para uma correcta instalação da Manutenção Seis Sigma [21,26,27,28,29]:

1. entender claramente o significado da filosofia Seis Sigma e do Pensamento Magro, assim como das implicações e da importância da manutenção industrial para o bom desempenho técnico e financeiro da organização,
2. fazer sentir que esta filosofia corresponde à miscigenação da Seis Sigma com os objectivos da utilização de práticas preventivas e melhorativas na manutenção dos equipamentos afectos às actividades de produção,
3. criar o indicador Índice de Desempenho da Manutenção,
4. estabelecer os objectivos de melhoria a curto e a longo prazo para todas as actividades associadas à Função Manutenção, de modo a transformar esta função num centro de lucro,
5. estabelecer os indicadores de desempenho técnicos e financeiros para todas as actividades da Função Manutenção,
6. estabelecer a relação entre a produtividade dos equipamentos e os valores dos indicadores medidos,
7. desenvolver uma política de utilização de tecnologia de ponta para os meios de diagnóstico e para a automatização dos sistemas de aquisição e análise de dados,
8. identificar os processos-chave, técnicos, administrativos e financeiros, de melhoria do desempenho das actividades de manutenção,
9. identificar todos os parâmetros associados à Função Manutenção, a montante, de execução, e a jusante,
10. estabelecer métodos de recolha de dados para esses parâmetros, e proceder à sua análise,
11. elaborar as cartas de tendência e apresentar os dados respeitantes aos objectivos a alcançar, de preferência com uma periodicidade semanal ou mensal, consoante a dimensão da empresa, o seu ramo de produção, o número de equipamentos afectos à produção e a sua complexidade e criticidade,
12. publicar internamente o Índice de Desempenho da Manutenção, semanal ou mensalmente, assim como os relatórios mensais de progresso,

13. rever o desempenho da Função Manutenção a partir dos resultados obtidos, e tendo como base os objectivos iniciais,
14. identificar os indicadores que apresentem uma elevada variância e um desempenho adverso face aos objectivos iniciais, e investigar as causas desses desvios,
15. desenvolver as acções curativas de melhoria do desempenho, e monitorizar o impacto das melhorias no Índice de Desempenho da Manutenção.

1.12.3. Indicadores Parciais de Desempenho

De entre a variedade bastante completa de indicadores utilizados, optou-se pelos seguintes, com o objectivo da exemplificação prática da metodologia de determinação do nível Seis Sigma para a filosofia Manutenção Seis Sigma [27,28,29]:

1. **Disponibilidade Operacional dos Equipamentos:** é calculada pela seguinte expressão:

$$D_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

sendo *MTBM* o *Mean Time Between Maintenance* (Tempo Médio Entre Acções de Manutenção), e *MDT* o *Mean Maintenance Down Time* (Tempo ou Duração Média das Acções de Manutenção). Atendendo a que existem, em termos gerais, várias linhas de produção com diversos equipamentos, esta disponibilidade deve corresponder à disponibilidade média da totalidade desses equipamentos. Na prática, sucede que, por vezes, existem equipamentos com índices de criticidade bastante desfavoráveis e, conseqüentemente, com elevadas probabilidades de imobilizações não planeadas, o que lhes confere potencialmente uma disponibilidade operacional reduzida. Nessas situações, compete aos serviços de manutenção optarem por políticas de manutenção preventivas e, sobretudo, melhorativas, associadas a um planeamento rigoroso de intervenções, no sentido de se melhorar a sua disponibilidade e, por acréscimo, o nível Seis Sigma global.

2. **Taxa de Falhas dos Equipamentos:** é dada pela seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{\text{número total de falhas}}{\text{tempo total de funcionamento}}$$

Tal como sucede com a disponibilidade operacional, este indicador deve corresponder à média das taxas de falhas da totalidade dos equipamentos, devendo ser dada uma atenção especial aos equipamentos mais críticos para o processo produtivo, com o objectivo de se aumentar a sua fiabilidade.

3. **Eficiência Global dos Equipamentos:** é calculada através do seguinte produto:

$$EGE = D_o R_o T_q$$

em que R_o é o Rendimento Operacional e T_q a Taxa de Qualidade dos Produtos Fabricados, sendo, respectivamente:

$$R_o = TVO \times TOL$$

$$T_q = \frac{PSD}{PTF}$$

Por sua vez, TVO representa a Taxa da Velocidade Operacional e TOL a Taxa de Operação Líquida, dadas respectivamente pelos seguintes rácios:

$$TVO = \frac{\text{tempo standard de ciclo}}{\text{tempo de ciclo real}}$$

$$TOL = \frac{\text{unidades produzidas} \times \text{tempo de ciclo real}}{\text{tempo de carga} - \text{tempo de paragens}}$$

enquanto que PSD é o número de produtos fabricados sem defeito, e PTF o número total de produtos fabricados.

4. **Taxa de Rendimento Sintética dos Equipamentos:** é dada pelo seguinte rácio:

$$TRS = \frac{D}{A}$$

sendo A o tempo teórico máximo possível de funcionamento, isto é, o tempo compreendido entre o instante do início da entrada pela primeira vez em serviço e o instante do abatimento, e D o tempo líquido de funcionamento deduzido das perdas por “não qualidade”. Como sucede com os anteriores indicadores Disponibilidade Operacional e Taxa de Falhas, esta taxa deverá corresponder ao valor médio das taxas relativas a todos os equipamentos utilizados nos diferentes processos produtivos.

5. Índice de Trabalho Extraordinário:

$$ITE = \frac{\text{custo total do trabalho extraordinário de manutenção}}{\text{custo total do pessoal de manutenção}}$$

6. Índice Técnico de Actividade:

$$ITA = \frac{\text{custo dos materiais utilizados}}{\text{custo total de manutenção}}$$

7. Índice do Volume de Produção:

$$IVP = \frac{\text{custo total de manutenção}}{\text{volume de vendas}}$$

8. Índice de Qualidade do Serviço:

$$IQS = \frac{\text{tempo de manutenção preventiva}}{\text{tempo total de manutenção}}$$

9. Índice de Efectivos de Pessoal:

$$IEP = \frac{\text{efectivo de pessoal de manutenção}}{\text{efectivo de pessoal de produção}}$$

10. Índice de Trabalho Subcontratado:

$$ITS = \frac{\text{horas de trabalho subcontratado}}{\text{horas totais de manutenção}}$$

Saliente-se que a quantidade e o tipo destes indicadores dependem directamente da especificidade de cada organização, assim como da importância que é atribuída às actividades de manutenção. Contudo, a determinação do nível Seis Sigma obedece sempre à mesma metodologia de cálculo, que se apresenta seguidamente.

1.12.4. Determinação do Nível Seis Sigma (*Maintenance Scorecard*)

Para se compreender a metodologia de determinação do nível Seis Sigma para esta filosofia, apresenta-se no quadro 1.17, um exemplo numérico discriminativo para um determinado período temporal, por exemplo um semestre, e que representa o figurino genérico da *Maintenance Scorecard*, sendo os passos a seguir idênticos aos da elaboração da *Business Scorecard* [27,28,29]:

- **Indicadores a medir:** já definidos previamente, deverão ser explicitados na coluna 1. Consoante os objectivos e as especificidades das empresas, poderão ser escolhidos outros mais representativos, e o seu número poderá igualmente ser diferente de dez.
- **Definição dos pesos dos indicadores:** estes pesos P_n são atribuídos a cada indicador em função da especificidade de cada um e da sua importância no desenvolvimento da Função Manutenção, devendo a sua soma ser igual a 100, sendo os valores expostos no quadro 23 meramente indicativos.
- **Definição do desempenho de cada indicador:** tal como sucede para a *Business Scorecard*, para cada um dos n indicadores medidos, este desempenho é calculado através do seguinte rácio:

$$R_n = \frac{\text{desempenho obtido} \times 100}{\text{desempenho previamente definido}}$$

Dentro da mesma linha de pensamento da *Business Scorecard*, no quadro 1.18 sugerem-se os valores efectivos a serem utilizados para a Manutenção Seis Sigma. Ou seja, o rácio de desempenho real R_n para cada um dos 10 indicadores medidos, deverá ser corrigido para D_n , de acordo com as correspondências discriminadas no quadro 1.18. Tal como sucede com a

elaboração da *Six Sigma Business Scorecard*, na elaboração da *Six Sigma Maintenance Scorecard* não se considera o rácio real R_n mas sim o valor corrigido D_n para se diferenciar de uma forma acentuada e concisa os bons dos maus desempenhos. Por exemplo, para a disponibilidade operacional, se se tiver $R_n = 100$, o desempenho é excelente, contudo se for igual a 80 já se poderá considerar medíocre, contudo, a diferença caracterizadora destas duas situações é apenas igual a 20, ou seja, pouco significativa. Todavia, com os valores corrigidos recomendados no quadro 24, tem-se para D_n respectivamente os valores 100 e 40, sendo assim a diferença bastante mais significativa ($60 = 3 \times 20$). Por outro lado, o facto de se ter $R_n > 100$ por exemplo para a disponibilidade operacional, significa que se conseguiu melhorar este indicador para além do valor previamente especificado para o período em análise. Adicionalmente, para outros indicadores, quanto mais R_n for superior a 100, mais reduzido será o valor de D_n , na medida em que o desempenho sofre um agravamento cada vez maior, como sucede por exemplo com o Índice de Trabalho Extraordinário, em que esta situação corresponderia a um aumento das horas extraordinárias dos recursos humanos afectos às actividades de manutenção face ao rácio previamente especificado. Situação idêntica acontece com os indicadores M6, M7 e M9.

• **Determinação dos Índices de Desempenho da Manutenção Parciais:**

$$IDMP_n = \frac{P_n \times D_n}{100}$$

• **Determinação do Índice de Desempenho da Manutenção:**

$$IDM = \sum_{n=1}^{10} IDMP_n$$

• **Determinação do número de Defeitos Por Unidade *DPU*:**

como se justificou para a *Business Scorecard*, deve calcular-se seguindo o mesmo raciocínio, ou seja:

$$DPU_M = - \ln \left(\frac{IDM}{100} \right)$$

• **Determinação do número de defeitos por milhão de oportunidades**

DPMO:

atendendo a que se tem, respectivamente:

$$DPU = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número de unidades}}$$

$$DPMO = \frac{\text{número total de defeitos} \times 10^6}{\text{número total de oportunidades de defeito}}$$

mas como, por outro lado, se pode escrever a seguinte relação entre as variáveis intervenientes:

$$\begin{aligned} \text{número total de oportunidades de defeito} &= \text{número de unidades} \times \\ &\times \text{número médio de oportunidades de defeito por unidade} \end{aligned}$$

virá, por conseguinte:

$$DPMO = \frac{DPU \times 10^6}{\text{número médio de oportunidades de defeito por unidade}}$$

e, uma vez que, para a manutenção industrial, se deve ter:

$$\begin{aligned} \text{número total de defeitos} &= \\ &= \text{número total de falhas nas linhas de produção} \\ \text{número de unidades} &= \text{número de linhas de produção} \\ \text{número médio de oportunidades de defeito por unidade} &= \\ &= \text{número médio de equipamentos por linha de produção} \end{aligned}$$

virá finalmente:

$$DPMO_M = \frac{DPU_M \times 10^6}{\text{número médio de equipamentos por linha de produção}}$$

- **Determinação do nível Seis Sigma:** calcula-se de forma indirecta recorrendo-se à distribuição normal padrão, ou então directamente ou por interpolação linear, através do quadro 1.9.

Indicadores medidos	P_n	D_n	$IDMP_n$
M1. Disponibilidade Operacional	15	44	6,6
M2. Taxa de Falhas	15	70	10,5
M3. Eficiência Global dos Equipamentos	20	85	17
M4. Taxa de Rendimento Sintética	10	90	9
M5. Índice de Trabalho Extraordinário	5	100	5
M6. Índice Técnico de Actividade	5	70	3,5
M7. Índice do Volume de Produção	5	75	3,75
M8. Índice de Qualidade do Serviço	5	90	4,5
M9. Índice de Efectivos de Pessoal	10	70	7
M10. Índice de Trabalho Subcontratado	10	75	7,5
Cálculos			
IDM	74,35 %		
DPU_M	0,2964		
número médio de equipamentos por linha de produção	8		
$DPMO_M$	37050		
nível Seis Sigma	3,287 (3,29)		

Quadro 1.17 – Exemplo numérico prático de determinação do nível Seis Sigma para a filosofia Manutenção Seis Sigma (*Maintenance Scorecard*).

Como complemento, mostram-se no quadro 1.19 os valores máximos e mínimos que se conseguem obter para os DPU_M de acordo com o quadro 1.18, assim como os limites dos $DPMO_M$ em função do número de equipamentos por linha.

Indicadores Medidos	R_n	D_n
M1. Disponibilidade Operacional dos Equipamentos D_o	≤ 60	20
	80	40
	90	70
	≥ 100	100
M2. Taxa de Falhas dos Equipamentos λ	≥ 200	20
	150	40
	120	70
	≤ 100	100
M3. Eficiência Global dos Equipamentos EGE	≤ 50	20
	60	30
	75	50
	≥ 100	100
M4. Taxa de Rendimento Sintética dos Equipamentos TRS	≤ 50	20
	60	30
	75	70
	≥ 100	100
M5. Índice de Trabalho Extraordinário ITE	≥ 200	10
	150	30
	120	70
	≤ 100	100
M6. Índice Técnico de Actividade ITA	≥ 200	10
	150	30
	120	70
	≤ 100	100
M7. Índice do Volume de Produção IVP	≥ 200	10
	150	30
	120	70
	≤ 100	100
M8. Índice de Qualidade do Serviço IQS	≤ 20	10
	40	30
	60	50
	≥ 100	100
M9. Índice de Efectivos de Pessoal IEP	≥ 200	10
	150	30
	120	70
	≤ 100	100
M10. Índice de Trabalho Subcontratado ITS	≤ 70	20
	80	30
	90	70
	≥ 100	90

Quadro 1.18 – Valores sugeridos para os rácios efectivos de desempenho dos indicadores medidos.

Indicadores medidos	P_n	Máximos		Mínimos	
		D_n	$IDMP_n$	D_n	$IDMP_n$
M1	15	100	15	20	3
M2	15	100	15	20	3
M3	20	100	20	20	4
M4	10	100	10	20	2
M5	5	100	5	10	0,5
M6	5	100	5	10	0,5
M7	5	100	5	10	0,5
M8	5	100	5	10	0,5
M9	10	100	10	10	1
M10	10	90	9	20	2
Cálculos					
IDM		99		17	
DPU_M		0,0101		1,7720	
número médio de equipamentos por linha de produção		8			
$DPMO_M$		1263		221500	
nível Seis Sigma		4,523 (4,5)		2,268 (2,3)	

Quadro 1.19 – Valores limites máximo e mínimo dos DPU_M .

1.13. ÍNDICES DE “CAPACIDADE” E “CAPABILIDADE” DOS PROCESSOS

A “capacidade” de um processo (C_p) pode-se definir como a capacidade que o processo tem, por convenção, de produzir peças em que apenas uma pequena percentagem (cerca de 0,27%) das peças sairão fora dos limites de tolerância.

A “capabilidade” de um processo (C_{PL} e C_{PU}) encontra-se associada às definições estabelecidas pela norma ISO/IEC 15504, também conhecida por *SPICE* (*Software Process Improvement and Capability Determination*), e que foi desenvolvida em cooperação entre a *ISO* (*International Organization for Standardization*) e a *IEC* (*International Electrotechnical Commission*). As duas vertentes da “capabilidade” correspondem à medição da variabilidade de um processo, e à comparação dessa variabilidade com as especificações previamente definidas.

Quanto às variáveis de saída, podem ser analisadas estatisticamente, quando seguem uma distribuição normal, através da média e do desvio padrão, utilizando-se na prática os seguintes índices, que representam uma medida da conformidade dos processos normalmente distribuídos, com média μ e desvio padrão σ [3,4]:

$$C_P = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

sendo, como se discrimina na figura 1.1, *LSL* o *Lower Specification Limit* (Limite Inferior da Especificação), e *USL* o *Upper Specification Limit* (Limite Superior da Especificação). O primeiro destes índices não considera a média e é um estimador apenas da dispersão associada ao processo, enquanto que os dois restantes, definidos apenas em função, respectivamente, dos limites inferior e superior da especificação, consideram a média e são estimadores do ajuste e da dispersão do processo. Quanto aos valores universalmente aceites, tem-se [3,4]:

- para $C_P, C_{PL}, C_{PU} < 1,00$: “capacidade” e “capabilidade” inadequada,
- para $1,00 \leq C_P, C_{PL}, C_{PU} < 1,33$: “capacidade” e “capabilidade” satisfatória,
- para $1,33 \leq C_P, C_{PL}, C_{PU}$: “capacidade” e “capabilidade” adequada,
- para $C_P, C_{PL}, C_{PU} = 2,00$: “capacidade” e “capabilidade” satisfatória para o Seis Sigma, como facilmente se constata:

$$C_P = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{(\mu + 6\sigma) - (\mu - 6\sigma)}{6\sigma} = 2,00$$

$$C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} = \frac{\mu - (\mu - 6\sigma)}{3\sigma} = 2,00$$

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} = \frac{(\mu + 6\sigma) - \mu}{3\sigma} = 2,00$$

1.14. PROPOSTA DE CORRECÇÃO DO NÍVEL SEIS SIGMA

Conforme se demonstrou anteriormente, o número de defeitos por milhão de oportunidades é definido através da seguinte expressão:

$$DPMO = \frac{DPU \times 10^6}{\text{número médio de oportunidades de defeito por unidade}} = \frac{DPU \times 10^6}{NOD}$$

tendo-se, respectivamente, para a produção de unidades industriais, para a *Six Sigma Business Scorecard*, e para a *Six Sigma Maintenance Scorecard*:

NOD = número médio de componentes defeituosos por unidade

NOD = número de administradores executivos

NOD = número médio de equipamentos por linha de produção

Por conseguinte, considerando que, para um desempenho seis sigma se tem $DPMO = 3,4$, pode-se escrever então:

$$NOD = \frac{DPU \times 10^6}{3,4}$$

Como facilmente se depreende, para a produção de componentes industriais simples ou de unidades mais complexas, é possível em termos práticos conseguir-se um desempenho correspondente ao nível máximo seis sigma. Contudo, para as filosofias *Six Sigma Business Scorecard* (SSBS) e *Six Sigma Maintenance Scorecard* (SSMS), torna-se impossível, do ponto de vista racional, atingir-se esse patamar, como se explicita de seguida, onde os valores dos *DPU* são os mínimos para os quais correspondem os desempenhos máximos possíveis, calculados respectivamente nos quadros 1.10, 1.16 e 1.19:

- SSBS, grandes e médias empresas:

$$NOD_B = \frac{0,0101 \times 10^6}{3,4} = 2970$$

- SSBS, pequenas empresas:

$$NOD_B = \frac{0,0202 \times 10^6}{3,4} = 5940$$

- SSMS:

$$NOD_M = \frac{0,0101 \times 10^6}{3,4} = 2970$$

Indicadores medidos	P_n	Máximos		Desempenho efectivo	
		D_n	$IDMP_n$	D_n	$IDMP_n$
M1	15	100	15	40	6
M2	15	100	15	70	10,5
M3	20	100	20	50	10
M4	10	100	10	70	7
M5	5	100	5	30	1,5
M6	5	100	5	70	3,5
M7	5	100	5	30	1,5
M8	5	100	5	50	2,5
M9	10	100	10	70	7
M10	10	90	9	70	7
Cálculos					
IDM		99		56,5	
DPU_M		0,0101		0,571	
<i>número médio de equipamentos por linha de produção</i>		12			
DPMO_M		842		47583	
nível Seis Sigma		4,64		3,17	
factor de correcção		6 – 4,64 = 1,36			
nível Seis Sigma corrigido		6		4,53	

Quadro 1.20 – Exemplificação do cálculo do factor de correcção do nível Seis Sigma.

Como se constata, sem dúvida que estes resultados são irracionais, na medida em que para se ter um desempenho seis sigma seria necessário que, para o máximo desempenho possível, as grandes e médias empresas tivessem 2970 administradores executivos, as pequenas empresas 5940, e as linhas de produção 2970 equipamentos, o que é manifestamente impossível. Por outro lado, como é patente no quadro 1.11, para um mesmo desempenho, quantificado pelo indicador *DPU*, quanto mais elevado for o número de administradores executivos ou o número médio de equipamentos por linha de produção, mais elevado será o nível sigma. Apesar das filosofias *SSBS* e *SSMS* apresentarem o grande mérito de permitirem classificar o desempenho de negócios e a manutenção industrial em termos comparativos, sucede que, para o mesmo nível de qualidade, isto é para o mesmo número de *DPU*, o nível sigma difere de organização para organização, em função do número de executivos ou do número de equipamentos das linhas de produção. Assim sendo, na minha opinião, quando o número de *DPU* é o mesmo, as organizações ou os serviços de manutenção deverão ter o mesmo nível Seis Sigma, independentemente do número de executivos ou do número de equipamentos, na medida em que apresentam exactamente o mesmo nível de desempenho. Como tal, propõe-se a correcção do nível Seis Sigma, obtido através das metodologias exemplificadas nos quadros 1.7, 1.10, 1.11, 1.16, 1.17 e 1.19, devendo proceder-se do seguinte modo para a obtenção das *Scorecards*, apresentando-se no quadro 1.20 um exemplo respeitante à *SSMS* [27,28,29]:

- Determinação dos valores dos indicadores *IDM* (99), *DPU* (0,0101) e *DPMO* (842) para o desempenho máximo possível, assim como do respectivo nível Seis Sigma (4,64) tendo em atenção, neste exemplo concreto, o número médio de equipamentos por linha de produção (12).
- Determinação dos valores daqueles mesmos indicadores (*IDM* = 56,5; *DPU* = 0,571; *DPMO* = 47583), assim como do respectivo nível Seis Sigma (3,17), para o desempenho efectivo da função manutenção para um determinado período temporal.
- Determinação do factor de correcção, que se obtém pela subtracção entre 6 e o nível Seis Sigma máximo, ou seja, $6 - 4,64 = 1,36$. Note-se que este factor é sempre o mesmo, independentemente do nível Seis Sigma correspondente ao desempenho efectivo e desde que o número de equipamentos se mantenha.

- Determinação do nível Seis Sigma corrigido, para o desempenho efectivo, obtendo-se $3,17 + 1,36 = 4,53$.

Como o número médio de oportunidades de defeito por unidade influencia o cálculo do número de *DPMO* e, conseqüentemente, do nível Seis Sigma, poder-se-á argumentar que a introdução do factor correctivo que se propõe poderá desvirtuar o cálculo do nível Seis Sigma. Na nossa opinião, tal não acontece pelos seguintes motivos:

- Como se apresentou anteriormente, de uma forma pormenorizada, a determinação do nível Seis Sigma representa ela própria uma correcção da distribuição normal, que se traduz pela introdução do factor 1,5.
- A base original da criação da filosofia Seis Sigma reside na avaliação da qualidade do desempenho das linhas de produção, contabilizada pelo número de produtos defeituosos fabricados, número esse por sua vez convertido em níveis sigma, sendo assim relativamente fácil e inequívoco calcular os números de *DPU* e de *DPMO*, bastando para isso efectuar a contagem dos componentes e das unidades produzidas, com defeito e em conformidade com as especificações previamente definidas.
- A *SSBS*, proposta por Gupta [9], representa uma adaptação bastante original, engenhosa e inteligente da filosofia Seis Sigma, com a finalidade de se avaliar, em termos relativos baseados nos níveis sigma, o desempenho de negócios das organizações. Quanto à *SSMS*, representa, por sua vez, a adaptação da *SSBS* à função manutenção nas empresas, com os mesmos objectivos de avaliação e de melhoria contínua [27,28,29]. Todavia, a determinação em ambos os casos dos respectivos números de *DPU*, difere significativamente na sua essência da situação respeitante à produção de equipamentos, daí que esses números estejam à partida condicionados ao próprio método de cálculo em si, sendo regra geral mais elevados que os seus homólogos respeitantes aos equipamentos fabricados, mesmo nas situações de desempenho máximo.
- Para o mesmo número de *DPU*, as organizações que disponham de um número mais elevado de executivos serão as que apresentarão um nível sigma mais elevado. Esta situação não nos parece ser a mais correcta, na medida em que, por exemplo, se as organizações conseguirem um

desempenho máximo, deverão ser classificadas com o nível 6 sigma. Em termos de justiça relativa, considere-se a situação *sui generis* de duas empresas rigorosamente iguais, diferindo apenas nas suas designações comerciais e que, para um determinado período temporal conseguiram rigorosamente o mesmo desempenho, ou seja, o mesmo número de *DPU*. Ora, se o número de executivos for também igual, ambas as empresas terão o mesmo nível sigma de negócios, todavia se o número de executivos diferir, a empresa com menos executivos será a que apresentará o nível sigma mais baixo, o que não é muito racional, uma vez que, se essa empresa conseguiu um desempenho igual com menos executivos, à partida significaria que foi mais bem gerida, atendendo a que o número de decisões acertadas por executivo foi mais elevado.

- No que respeita à *SSMS*, a situação explicitada no ponto anterior relativamente à comparação entre empresas iguais não se coloca uma vez que, para se fabricar um determinado produto, quaisquer que sejam as empresas que o produzam o número e o tipo de equipamentos das linhas de produção são, como é óbvio, os mesmos, daí que, desde que essas empresas apresentem o mesmo número de *DPU* o seu nível sigma será também o mesmo. A diferenciação situa-se apenas quando o número de *DPU* é o mesmo e o número médio de equipamentos por linha de produção é diferente, o que conduz a níveis sigma desiguais, sendo mais penalizado o serviço de manutenção que tenha a seu cargo o menor número de equipamentos.
- Contrariamente ao que sucede com a fabricação de produtos, o cálculo do número de *DPMO* e, por conseguinte, do nível sigma para as filosofias *SSBS* e *SSMS*, é mais subjectivo atendendo a que a determinação do número de *DPU* obedece sempre aos mesmos critérios enquanto que a definição do número médio de oportunidades de defeito por unidade poderá diferir consoante os pontos de vista de cada equipa responsável pela Seis Sigma. Ou seja, se se considerar um determinado período temporal de avaliação do desempenho dos serviços de manutenção numa unidade fabril, o número de *DPU* é o mesmo sendo calculado pelo método proposto neste trabalho, porém o número de *DPMO* e o respectivo nível sigma serão diferentes consoante se

considere o número médio de equipamentos por linha de produção ou o número total de componentes desses equipamentos.

- Para a *SSBS* e *SSMS* considera-se para o cálculo do número de *DPMO* respectivamente o número de administradores executivos e o número médio de equipamentos por linha de produção, uma vez que são parâmetros de fácil quantificação. Todavia, no sentido de se atenuarem as diferenças apontadas anteriormente propõe-se então a utilização do factor de correcção do nível sigma, podendo ainda considerar-se para o número médio de oportunidades de defeito, respectivamente o número médio de decisões por executivo e o número médio de órgãos por equipamento de produção, apesar de serem difíceis e complexas ambas as contagens. Saliente-se que, por um lado, apesar de serem os executivos a tomarem as decisões elas poderão ser correctas ou incorrectas, e por outro, os equipamentos afectos às linhas de produção falham devido a verificarem-se falhas ou avarias nos seus órgãos.

PARTE 2 – CASO PRÁTICO: MULTINACIONAL DO SECTOR AUTOMÓVEL

2.1. DESCRIÇÃO DA UNIDADE FABRIL

A empresa objecto deste estudo, a **DELPHI PACKARD Sistemas Eléctricos SA** (Portugal), pertence ao grupo multinacional norte-americano com o mesmo nome, encontrando-se instalada em terreno próprio, na cidade da Guarda, no distrito com o mesmo nome e ocupando 21.257m² de área coberta. (figura 2.1).



Figura 2.1 – Instalações industriais da DELPHI PACKARD Sistemas Eléctricos SA (Guarda - Portugal).

Actualmente emprega 749 colaboradores directos e 201 indirectos e labora 5 dias por semana em 2 turnos fixos. O processo produtivo desta unidade fabril compreende exclusivamente a fabricação de componentes eléctricos para automóveis, nomeadamente cablagens eléctricas (figuras 2.2 e 2.3).

Seguidamente discrimina-se quais os modelos que incorporam as cablagens produzidas na unidade fabril:

- Renault: MPR de Twingo (modelo não produzido na linha de produção, sendo designados por MPR),
- Renault Clio (X65),
- Alfa Romeo 920 (Alfa 8C),
- Ferrari F430 (F131),
- Ferrari Scaglietti (F137),

- Ferrari F599 GTB (F141),
- Maserati Quattroportes (M139),
- Maserati Granturismo (M145),
- Maserati Coupé (M138),
- Opel Meriva.



Figura 2.2. – Logótipo de algumas marcas automóveis associadas à produção da Delphi da Guarda.



Figura 2.3 – Uma das cablagens produzidas na Delphi da Guarda.

A manutenção desta fábrica está a cargo do Departamento de Engenharia de Manutenção, departamento este do qual fiz parte durante dois anos. A manutenção preventiva é executada por empresas subcontratadas e a manutenção correctiva é realizada pelos técnicos da própria empresa com a coordenação do respectivo Departamento. Este Departamento engloba ainda uma secção de programação, com a finalidade objectiva da intervenção da programação dos equipamentos de teste e de controlo das cablagens.

Atendendo a que a qualidade é uma função indissociável de todo o processo produtivo e que se reflecte, por sua vez, na qualidade dos produtos finais, a Delphi encontra-se certificada pelas normas ISO 9001, QS 9000, ISO 1400, ISO TS 16949. Saliente-se ainda que o Grupo Delphi Europa possui um centro tecnológico na cidade de Lisboa, designado por *Manufacturing Excellence Center (MEC)*, sendo a Delphi Europa composta por 36 fábricas, localizadas em Marrocos, Portugal, Alemanha, Hungria, Roménia, Turquia, Rússia,... Por conseguinte, é uma empresa que utiliza tecnologia e processos produtivos de ponta, sem desperdícios nem perdas de tempo (*Lean Production*), em que o ciclo de desenvolvimento dos seus produtos compreende as seguintes fases: investigação e desenvolvimento, projecto, simulação, prototipagem, ensaio, planeamento dos processos, logística e planeamento da produção, fabricação, e fornecimento aos clientes.

2.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE MANUTENÇÃO

2.2.1. Organização estrutural

Esta unidade fabril valoriza as actividades dos recursos humanos afectos às actividades de produção, através de uma política de definição clara e objectiva das responsabilidades desses recursos no que respeita ao bom desempenho de todos os equipamentos que operam, de modo a que os técnicos de manutenção se possam dedicar a tarefas mais especializadas e de maior complexidade, apresentando-se na figura 2.4 o organigrama relativo à estrutura da Direcção Industrial.

Na utilização de metodologias de manutenção pró-activas na optimização da eficiência dos activos nas actividades preventivas baseadas na fiabilidade, é dado um relevo significativo ao indicador EGE (Eficiência Global dos Equipamentos). Contemplaram-se os seguintes aspectos, que estiveram igualmente na base da exequibilidade das actuais metodologias:

- Melhor relacionamento e cooperação entre os técnicos de manutenção e os operadores dos equipamentos de produção, com a consequente melhoria do processo de comunicação interna.
- Maior integração dos técnicos de manutenção com os processos da produção.
- Maior integração dos recursos humanos afectos à produção com os equipamentos que operam.

- Maior integração dos técnicos de manutenção com os equipamentos da produção.

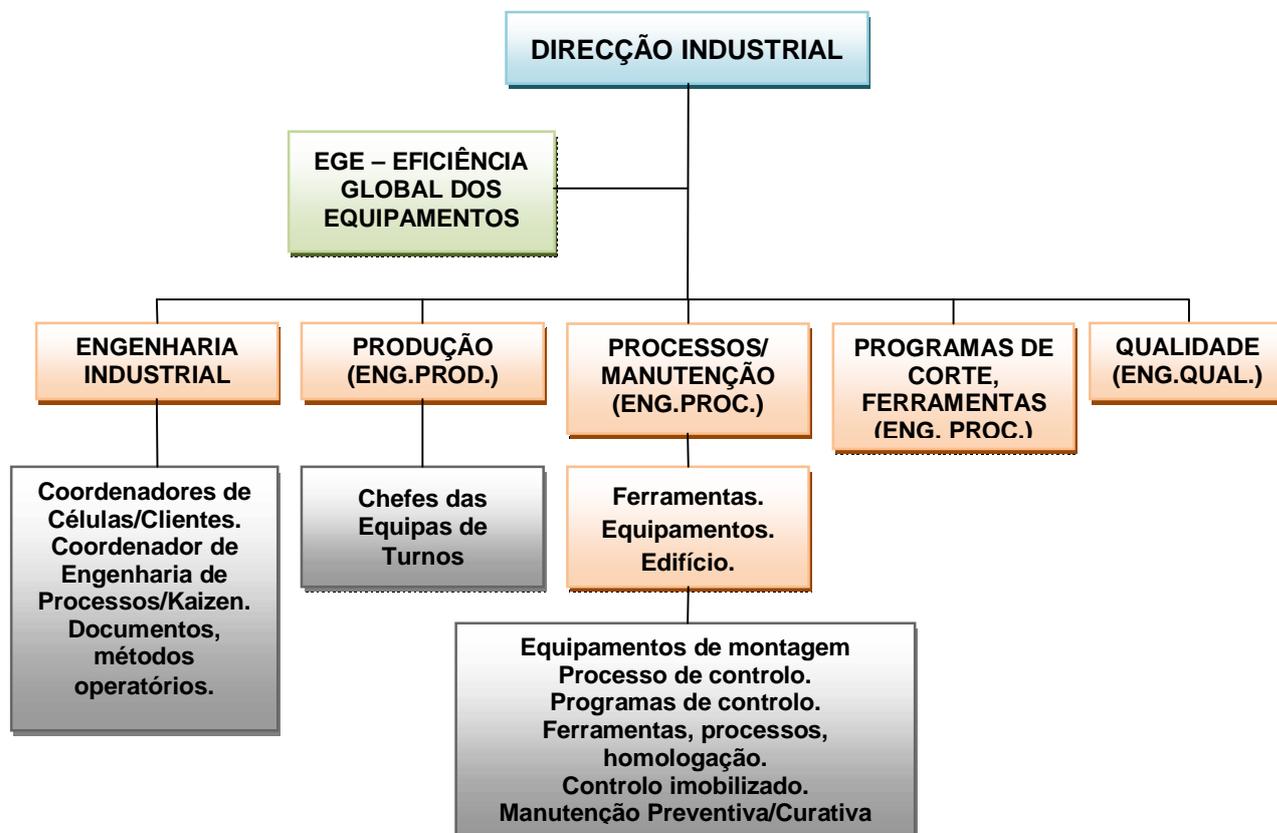


Figura 2.4 – Estrutura da Direcção Industrial.

2.2.2. Recursos humanos

Os recursos humanos encontram-se sujeitos a uma política intensiva de formação anual e procede-se à avaliação do desempenho de todos os colaboradores da Delphy da Guarda, de acordo com a seguinte grelha de atributos e competências [30]:

- Capacidade de liderança.
- Visão sistémica e estratégica.
- Eficiência na comunicação.
- Melhoria contínua e inovação.
- Práticas de melhoria da qualidade.
- Procura de vantagens competitivas.
- Capacidade de trabalho em equipa.
- Autodesenvolvimento.

- Atitudes éticas e integridade pessoal.
- Habilidade e competência técnica.
- Energia, acção e optimismo.
- Abertura e aceitação de práticas de mudança.

Salienta-se ainda que existe cooperação e partilha de actividades e de conhecimentos entre os técnicos afectos à produção e à manutenção, contribuindo assim para a melhoria contínua dos processos produtivos.

2.2.3. Suporte informático

O Departamento de Manutenção dispõe de um sistema informático para tratamento da informação, para o registo histórico de todos os equipamentos, e de suporte à decisão, compreendendo os seguintes módulos:

- Plano de Manutenção.
- Ordens de Serviço.
- Requisições de Manutenção.
- Pessoal de Manutenção.
- Stocks de Manutenção.
- Orçamento de Manutenção.
- Histórico de Manutenção.
- Tabelas de Manutenção;
- Indicadores de Manutenção.

Por exemplo, o módulo correspondente ao Plano de Manutenção contém os seguintes itens:

- Mapa das actividades preventivas e preditivas e sua calendarização.
- Elaboração e aprovação das requisições internas.
- Stock de Manutenção, que engloba as fichas de todos os artigos, com a sua referência, características, custo, e fornecedores.
- Indicadores de Manutenção, que permitem efectuar consultas a todos os tipos de indicadores de desempenho adoptados, sejam técnicos ou económicos.

Como exemplo, mostra-se na figura 2.5 o visual de um dos módulos informáticos, respeitante às Ordens de Trabalho.

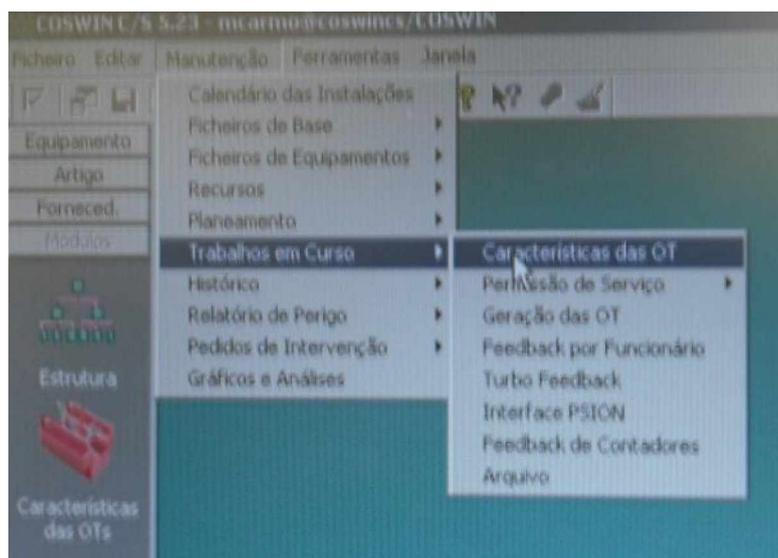


Figura 2.5 – Módulo informático de calendarização e gestão de Ordens de Trabalho do Departamento de Manutenção.

2.2.4. Procedimentos administrativos

Sendo uma empresa certificada pelas normas ISO TS 16949 e ISO 14000, dispõe de um Manual da Qualidade onde estão incluídos os procedimentos administrativos da manutenção e, conseqüentemente, alguns dos documentos utilizados, como se ilustra nas figuras 2.6 a 2.8.

REGISTO DE INTERVENÇÕES

DATA	/ /	LINHA	<input type="text"/>
		MÁQ.	<input type="text"/>
TEMPO PARAG.	<input type="text"/>	TEMPO MAN.	<input type="text"/>
TÉCNICO	<input type="text"/>	TURNO	<input type="text"/>
		OPERADOR	<input type="text"/>
AVARIA :			

N.º 104726

DREP/MCJ/EN/4.8.3.3.F1

Figura 2.6 – Folha de Registo de Intervenções.

ORDEM DE TRABALHO			PAG.: 1 / 3
DATA EXEC:		O.T. Nº :	
EQUIPAMENTO: ROBDI105	P.BORD X65 DIR.ESQ.	Recursos Humanos Utilizados	
Nº SÉRIE		Empreg.	Data
ZONA:	GR-R3	H Início	H Fim
FUNÇÃO	CELE	H Trab.	
C.CUSTO :	MONTAGEM	MONTAGEM - GR	
INTERVENÇÃO	ROBXXP01	Inter elec.10000 ciclos ou 4 a 8 semanas	
SUPERVISOR:	917		
ID DO PLANO	0	SEMANA: 17	
CONTADOR	CNROBDI105	LEITURA	
		LOCALIZAÇÃO DE EQP:	
Actividades		PEÇAS CONSUMIDAS	
Rev. 03 10/03/2006			
NOTA Após a conclusão da intervenção, a Fiabilidade deve ser informada por forma a efectuar a rotina de vigilância. (ver nota no final desta OT)			
ATENÇÃO - Identificar a área em manutenção - Desligar o equipamento		NOTAS	
1. SISTEMA ELÉCTRICO - Retirar tampas - Limpar cartas - Verificar se módulos estão correctamente assentes - Apertar todos os pontos de ligação - Verificar sistema de luzes - Limpar unidade de abastecimento de energia e verificar se existe sobreaquecimento - Verificar ecrã - Limpar computador			
2. SISTEMA PNEUMÁTICO (UNIDADE DE MANUTENÇÃO) - Verificar tubos - Verificar válvulas - Verificar existência de fugas - Verificar nível do purgador, esvaziar se necessário - Verificar nível de óleo pneumático, repor se necessário			
NOTA: - Utilizar óleo pneumático - Verificar unidade de manutenção de ar. Não aplicar ar comprimido - Trocar filtro se necessário assim como a janela de inspecção - Verificar distribuidores de ar			
3. GERAL - Verificar e limpar ventoinha de arrefecimento - Testar sistema de prisão de cabo e leitor de código de barras - Limpar todos os módulos - Verificar movimento de todos os pinos de contacto - Verificar módulos de controlo eléctrico - Verificar se tipo de pinos de contacto são iguais para cada contra-peça - Verificar se não faltam pinos de contacto - Verificar nível de pinos de contacto - Verificar estado e funcionalidade de pinos de contacto, trocar se necessário - Verificar folgas de contra-peça no módulo correspondente, quando este se encontra fechado - Substituir pequenas tampas sempre que necessário			
4. OPERAÇÃO - Verificar todos os testes especiais (estanqueidade, push-test,...) - Verificar electrificação de acordo com tabela de pontos de ligação - Verificar prisão do cabo			
5. GLOBAL TESTER / WEE - Verificar cartas e funcionalidade - Retirar cartas e mother board, limpar utilizando ar comprimido, substituir cartas			
NOTA - Unicamente para Global tester			
- Verificar estado de todas as ligações eléctricas			
		O.T.	
		Fábrica	
		Data: / /	
		Equip: ROBDI105	
		Int Inter elec.10000 ciclos ou 4 a 8 semanas	
		Próxima Int: WK /	
		Assinatura:	

Figura 2.7 – Ficha de Ordem Trabalho, folha 1/2.

2.3. OBJECTIVOS DA MANUTENÇÃO

Anualmente, valoriza-se as actividades dos operadores dos equipamentos, através do incremento das suas responsabilidades pelo bom desempenho das máquinas que manipulam, permitindo assim que os técnicos de manutenção se dediquem a actividades bastante mais complexas e especializadas. Por conseguinte, enumeram-se de seguida todos os aspectos a contemplar, para a exequibilidade do plano de manutenção proposto, e em fase de instalação [30]:

- 1) Melhor relacionamento e cooperação entre os técnicos de manutenção e os operadores dos equipamentos de produção, com a consequente melhoria do processo de comunicação interna, através dos seguintes aspectos:
 - a) eliminação de barreiras,
 - b) fluxo de comunicação mais rápido e transparente,
 - c) nivelamento dos termos técnicos dos equipamentos e dos processos de fabrico,
 - d) gestão transparente das paragens de produção,
 - e) agilidade e rapidez no processo de tomada de decisão,
 - f) valorização dos técnicos de manutenção e dos operadores dos equipamentos de produção,
 - g) desenvolvimento de objectivos e de metas comuns.
- 2) Maior integração dos técnicos de manutenção com os processos da produção, através dos seguintes aspectos:
 - a) maior transparência das necessidades e dificuldades de ambos, técnicos de manutenção e operadores dos equipamentos,
 - b) melhor entendimento dos processos e prioridades, através do conhecimento das características que afectam directamente a qualidade de um produto ou, por exemplo, a importância de um componente de uma instalação com implicações na segurança dos trabalhadores,
 - c) maior integração com os problemas técnicos dos equipamentos e instalações,
 - d) identificação de outros problemas técnicos, como por exemplo as melhorias nos postos de trabalho, o conhecimento de engarrafamentos nos processos da manutenção e produção, a ergonomia, as regulações e afinações, e a diminuição de ruídos,

- e) fornecimento de informações para a área de planeamento, permitindo assim uma melhor gestão das peças de substituição, mantendo uma base de dados para planeamentos futuros, evitando, por exemplo, a aquisição de equipamentos considerados problemáticos.
- 3) Maior integração dos operadores da produção com os respectivos equipamentos, através dos seguintes aspectos:
- a) conhecimento mais detalhado dos equipamentos da produção,
 - b) conhecimento mais detalhado dos componentes desses equipamentos, principalmente nos aspectos que dizem respeito aos cuidados a ter no seu manuseamento, na sua utilização, na sua manutenção, e na segurança no trabalho,
 - c) maior consciencialização e consequente participação nos processos e actividades de manutenção autónoma.
- 4) Maior integração dos técnicos de manutenção com os equipamentos da produção, através dos seguintes aspectos:
- a) conhecimento da importância dos equipamentos no processo produtivo, além da qualificação recebida para efectuarem os serviços de manutenção,
 - b) identificação dos equipamentos críticos relativamente à funcionalidade, manutenibilidade e complexidade tecnológica, propondo melhorias para atingir e garantir o nível Seis Sigma pré-definido.

2.4. ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

O modelo de manutenção industrial actual, utiliza técnicas adequadas de diagnóstico, inspecção, prevenção, correcção, melhorias e controlo, para as máquinas, equipamentos e instalações, para que estejam disponíveis e operem com o máximo de desempenho a qualquer momento, com custos adequados e com equipas qualificadas e motivadas. Este modelo tem por base a eliminação máxima de falhas, com o objectivo de se maximizar o rendimento, de se obterem níveis mais elevados de produtividade, de se reduzirem os custos, e de se elevar o nível de qualidade. Seguidamente, descrevem-se, de forma sequencial, as diversas etapas de metodologias, apoiadas pelo próprio *software* de gestão da empresa [30]:

- Inventário, com o objectivo do levantamento das características de todos os equipamentos existentes na empresa, desde os mais simples até aos mais complexos, com a criação de um registo onde se definem alguns dos seus parâmetros necessários como por exemplo, a sua designação, o nome do fabricante, o nome do fornecedor, a data de fabricação, a data de aquisição, o local da instalação, o modelo, a dimensão e o peso, e outros dados técnicos julgados pertinentes.
- Contabilização do número de falhas de cada equipamento, e do seu grau de relacionamento com as perdas de produção, ou seja, com os custos indirectos, para que fosse possível definir um plano a ser desenvolvido para que essas falhas se minimizassem ou não ocorressem novamente.
- Toda esta informação, isto é, o registo de cada equipamento, a sua importância, e a taxa de falhas, deve ser reunida num registo histórico de ocorrências. Ao longo do tempo, esta informação irá enriquecendo o histórico, podendo-se efectuar o levantamento da situação real dos equipamentos da empresa, tornando-se deste modo possível determinar a taxa de falhas, o *MTBF* e o *MTTR*, o nível Seis Sigma, assim como os custos associados.
- Conhecida a situação real dos equipamentos, estabeleceram-se metas, através de acções de manutenção planeada, para a definição dos indicadores de desempenho e para as correcções necessárias, tendo sido elaborado um plano cujo objectivo consiste nas “zero falhas”, e que define as actividades da manutenção autónoma, a aplicação de um sistema de manutenção periódica, a aplicação de um sistema de manutenção preditiva, a redução dos custos da manutenção através do controlo de *stocks* de materiais de substituição e, em geral, pela optimização das actividades da própria manutenção.
- Em caso de falha de um equipamento da produção, a intervenção é da responsabilidade dos técnicos de manutenção, que se encontram permanentemente preparados para intervirem de uma forma eficaz.

Através destes procedimentos, internamente a informação desenvolve-se de uma forma eficaz entre os responsáveis e os diversos departamentos existentes na área fabril, tendo-se elaborado as seguintes normas de conduta [30]:

- Cada uma das equipas terá um representante, na medida em que as áreas operacionais da empresa, que actuam directa ou indirectamente no processo

produtivo, isto é, na produção, na manutenção, na logística e na qualidade, encontram-se divididas em equipas próprias.

- No final de cada semana realiza-se uma reunião, em que participam os responsáveis dos diversos departamentos da área fabril.
- Também no final de cada semana realiza-se uma reunião, em que participam os elementos do Departamento de Manutenção.

No quadro 2.1 discriminam-se os objectivos a cumprir, os representantes das equipas, e a periodicidade das reuniões.

OBJECTIVOS	REPRESENTANTES	PERIODICIDADE
Verificar as paragens dos equipamentos Verificar os indicadores de desempenho Analisar as informações relacionadas com os acontecimentos ocorridos ao longo da semana Informações relacionadas com os acontecimentos ocorridos ao longo da próxima semana	Chefe da manutenção Responsáveis da manutenção	Semanal, ao final da semana

Quadro 2.1 – Quadro de temas a analisar para a reunião semanal.

No caso de paragem de um equipamento, devido a uma falha, estabelece-se imediatamente um processo de comunicação com o objectivo de se transmitir essa ocorrência de uma forma eficaz, para se tornar o atendimento o mais rápido possível, de modo a solucionar-se o problema, para que a normalidade seja reposta rapidamente. Na figura 2.9 esquematiza-se, através de várias etapas, o processo de comunicação estabelecido e quais os profissionais a serem envolvidos no caso de imobilização dos equipamentos.

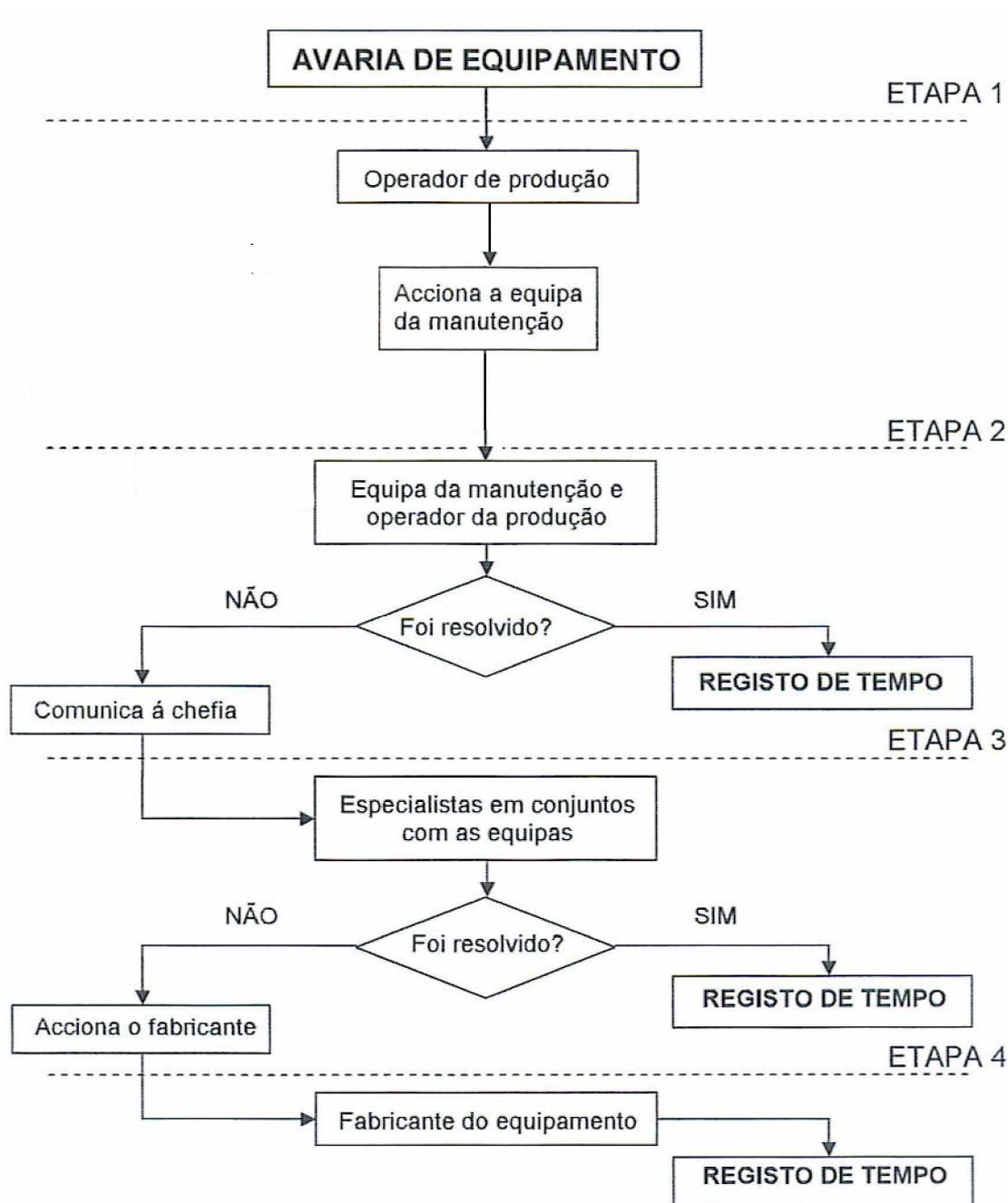


Figura 2.9 – Etapas a seguir e seus intervenientes no caso de avaria, com imobilização de um equipamento.

Relativamente ao fluxograma da figura 2.9, e para uma completa compreensão de toda esta metodologia de análise e de procedimentos, descrevem-se e caracterizam-se pormenorizadamente as 4 etapas associadas:

- **Etapa 1:** O operador da produção deverá accionar a equipa da manutenção através do processo de comunicação previsto.

- **Etapa 2:** A equipa da manutenção, em conjunto com o operador da produção, verifica a ocorrência e tenta solucionar o problema, contudo, se ao fim de 15 minutos a solução não for encontrada, o operador da manutenção, através do processo de comunicação previsto, deve informar o responsável da manutenção que, por sua vez, decide se deverá ou não participar e recorrer a um especialista interno. Poderão ocorrer situações onde o tempo possa ser superior aos 15 minutos previstos, como é o caso das falhas relativamente às quais a solução é conhecida, nada impedindo de serem reparadas pelo operador da manutenção. Se o problema for resolvido, o operador da produção deverá registar o tempo de imobilização do equipamento.
- **Etapa 3:** O responsável da manutenção, o técnico especialista e as equipas envolvidas tentarão resolver a situação. Caso também não consigam, em conjunto devem decidir qual a melhor opção, ou seja, recorrer ao próprio fabricante ou a um outro especialista. Se o problema for resolvido, o operador da produção deverá registar o tempo de imobilização do equipamento.
- **Etapa 4:** Caso a falha não consiga ser resolvida em nenhuma das etapas anteriores, recorre-se ao fabricante ou a um especialista externo, devendo o operador da produção, como sucede nas restantes etapas, registar o tempo de imobilização do equipamento.

Na eventual necessidade de uma assistência técnica por parte do fabricante, tanto para a intervenção como para a solicitação de peças de substituição, deve o responsável da manutenção não só possuir toda a informação disponível sobre o equipamento, isto é, as características gravadas na placa colocada na máquina ou indicadas no respectivo manual, mas também, para o caso particular de pedido de peças de substituição, especificar o número do desenho, caso exista no manual, e a respectiva referência de cada peça. O responsável da manutenção deve ainda identificar a localização da falha, fornecendo todas as indicações circunstanciais para que o fabricante possa analisar se a paragem da máquina depende de causas simples e elimináveis, mediante assistência telefónica, evitando assim a deslocação e a intervenção desnecessárias de um técnico qualificado, por parte do fabricante do equipamento ou do fabricante do componente defeituoso, o que se traduz na prática por uma redução substancial dos custos directos e indirectos.

2.5. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

O ambiente fabril é composto por diversos equipamentos:

- de corte (*Splice Guns*),
- de controlo (*Ring Out Board*),
- de soldadura (*Welding Ultrasonic Machine*),
- diversos.

Nos registos, os *ROB*'s interferem substancialmente na eficiência da zona fabril, sendo considerados como equipamentos críticos, efectuando-se a seguir a sua descrição.

As cablagens deverão ser testadas em mesas de controlo eléctrico designadas assim por *ROB*'s (*Ring Out Board*, Mesa de Controlo Eléctrico), permitindo desse modo que se cumpram as exigências do cliente (figura 2.10).

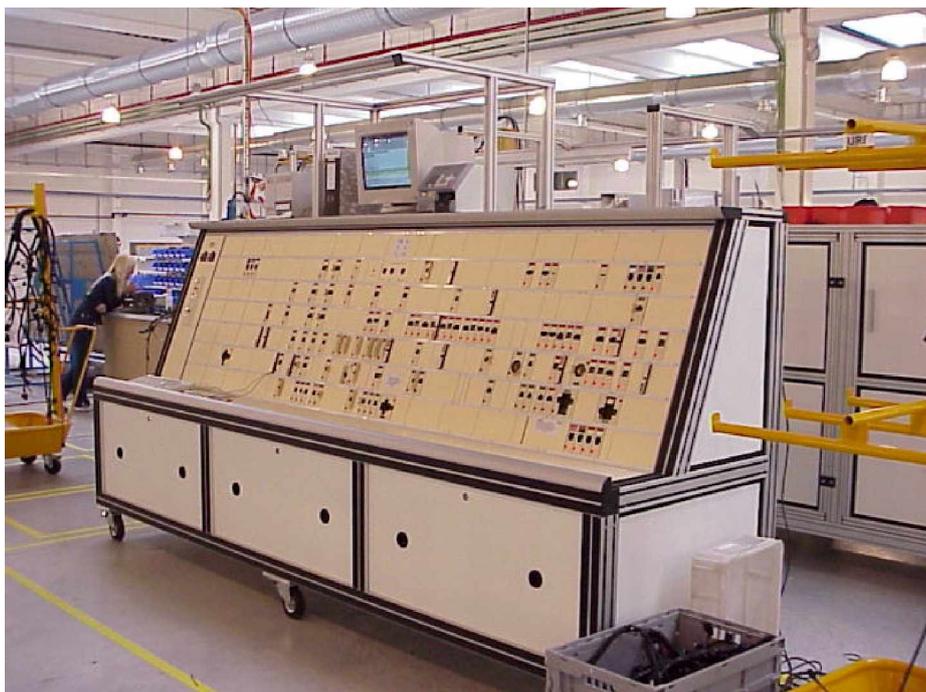


Figura 2.10 – Mesa de Controlo Eléctrico.

2.5.1. Procedimento do programa de teste nos diversos Departamentos

Nos fluxogramas expostos respectivamente nas figuras 2.11 e 2.12, podem-se observar as etapas de procedimento e responsabilidade da implementação do programa de teste, assim como as tarefas inerentes ao operador da *ROB*.

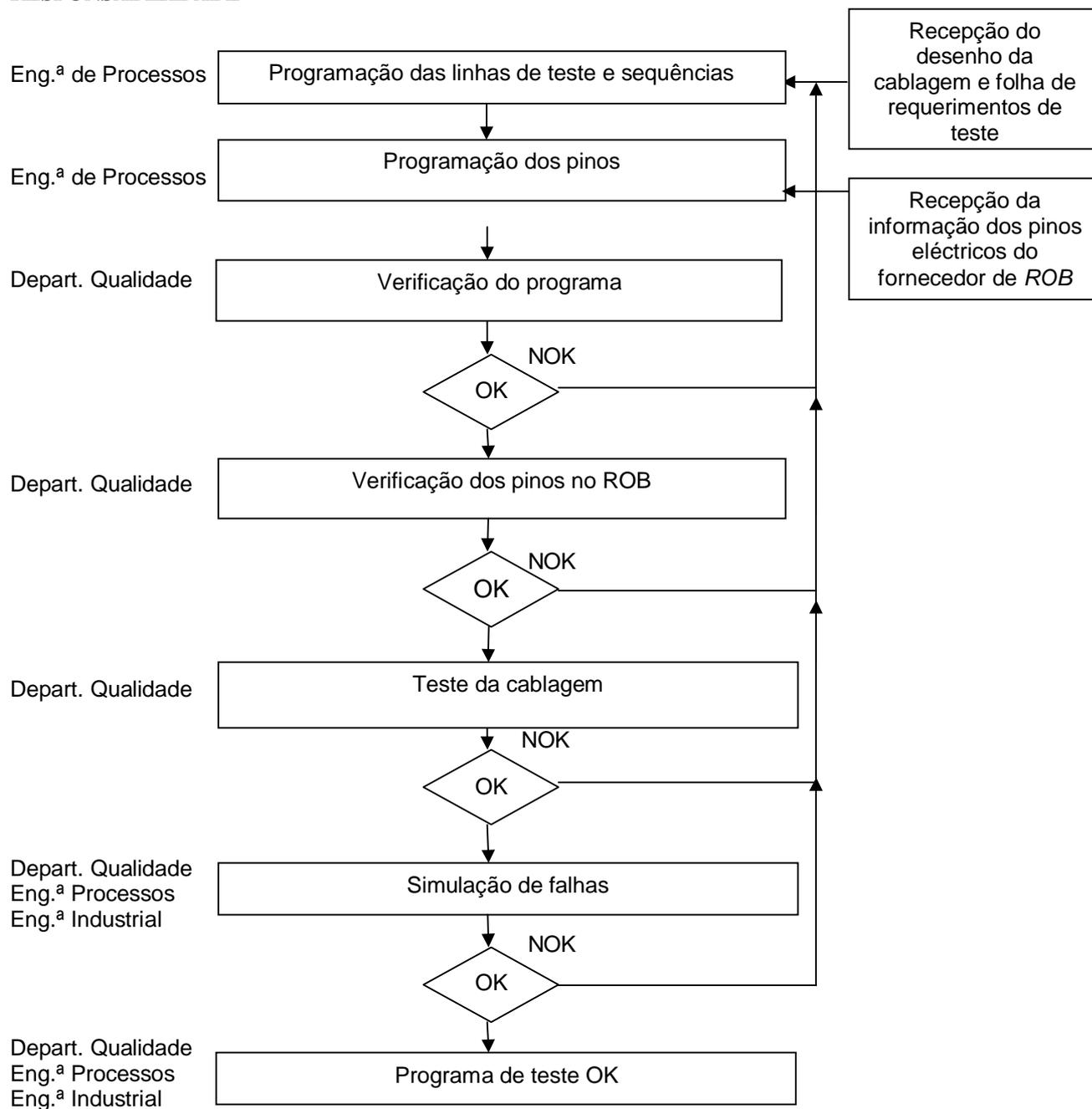
RESPONSABILIDADE

Figura 2.11 – Etapas de procedimento e responsabilidade da implementação do programa de teste.

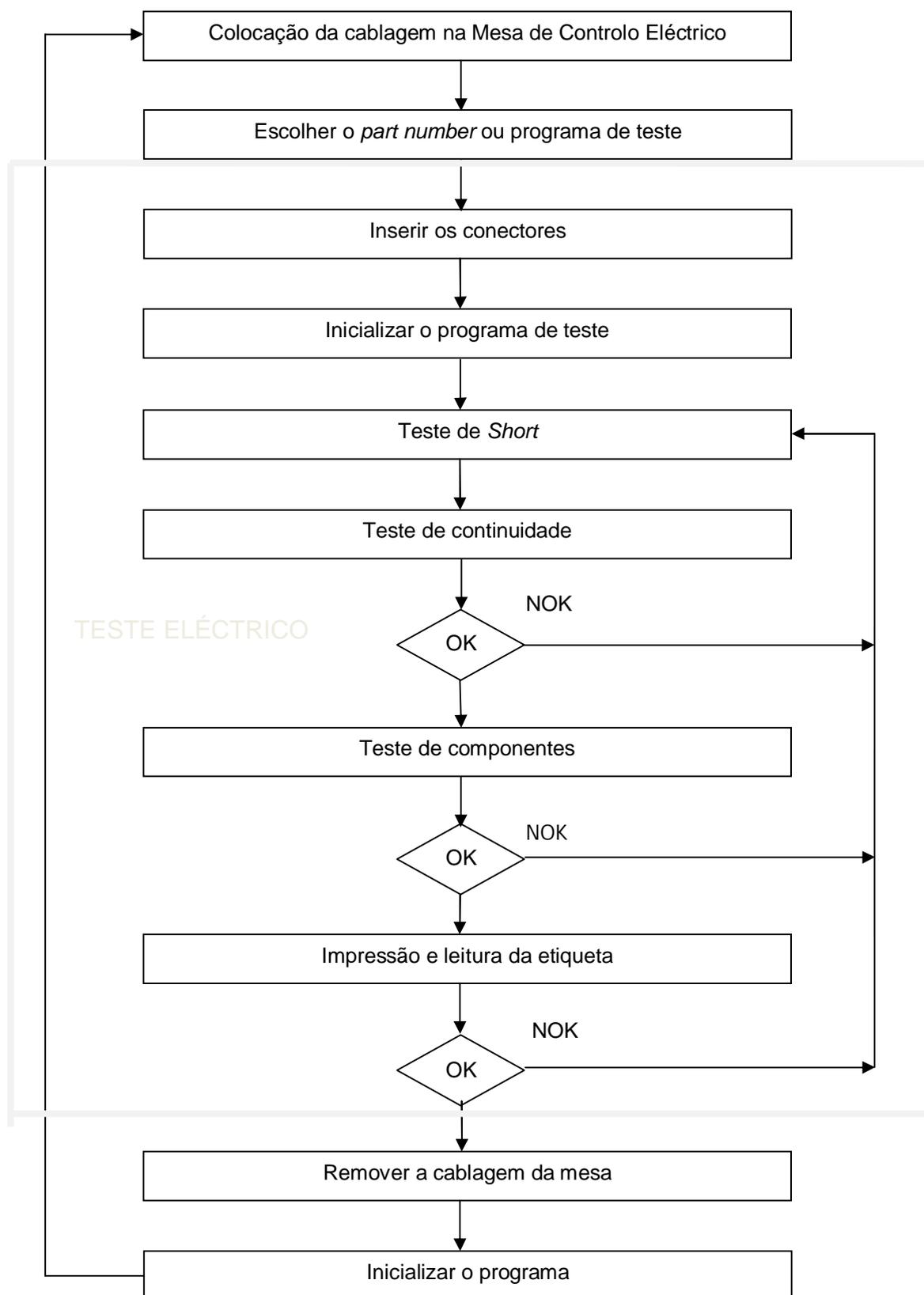


Figura 2.12 – Procedimento de tarefas do operador da Mesa de Controlo Eléctrico.

2.5.2. Descrição das Mesas de Controlo Eléctrico

Estas mesas são constituídas pelos seguintes elementos:

- Módulos.
- Cartas eléctricas.
- Unidade de processamento.
- Impressoras.
- Leitura óptica.

2.5.3. Constituição dos módulos

Os módulos existentes nas Mesas de Controlo Eléctrico são os seguintes:

- Módulo fixo (figura 2.13).
- Módulo móvel (figura 2.14).

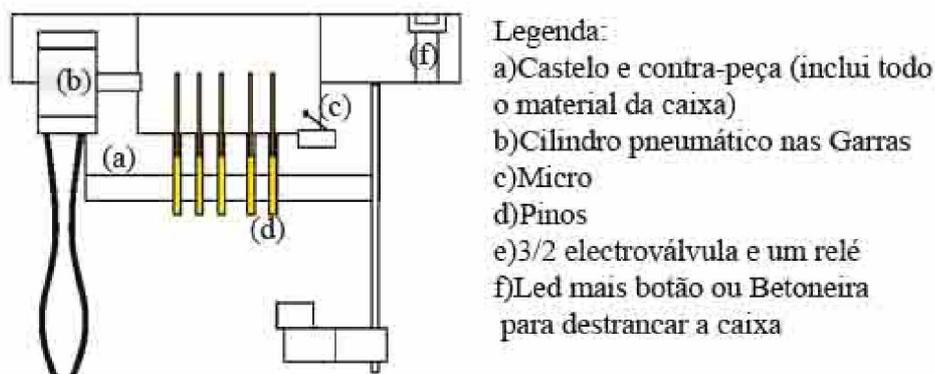


Figura 2.13 – Esquema do módulo fixo.

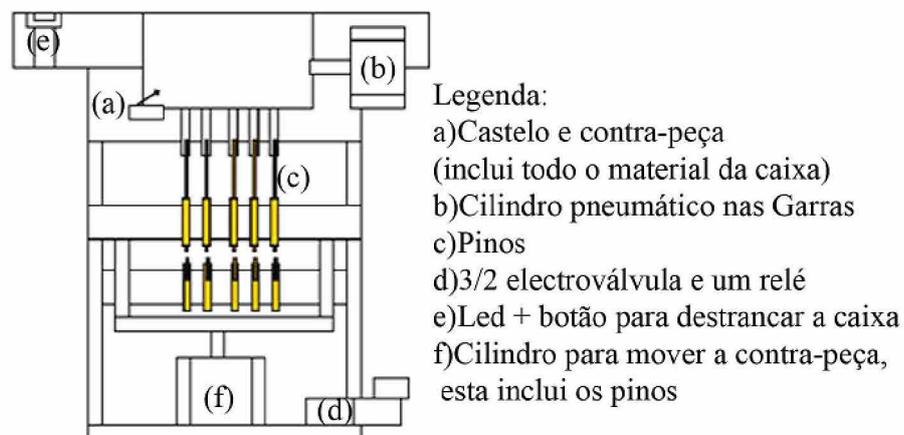


Figura 2.14 – Esquema do módulo móvel.

Por sua vez, na figura 2.15 esquematiza-se um módulo equipado com *Push Back/Push Test*.

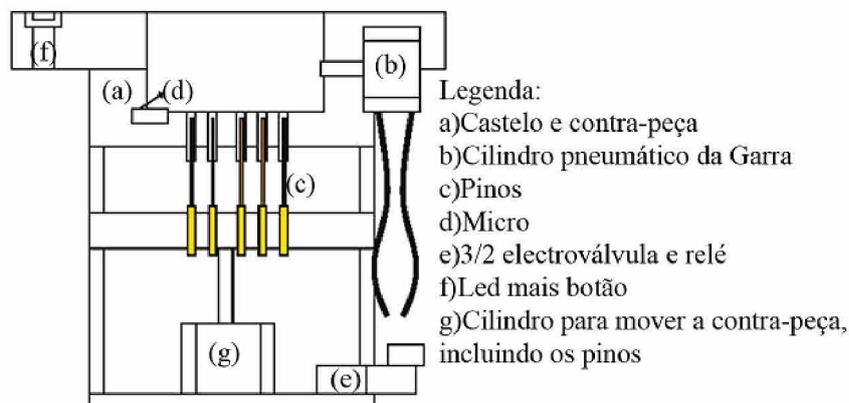


Figura 2.15 – Esquema do módulo com *Push Back/Push Test*.

2.5.4. Constituição dos pinos e cargas aplicadas

Utilizam-se os seguintes pinos, normais ou roscados [30]:

- Pinos interruptores.
- Pinos *Push Back*.
- Pinos não rotativos.
- Receptáculo:
 - para enroscar,
 - para soldar,
 - cargas no *Push Test*.

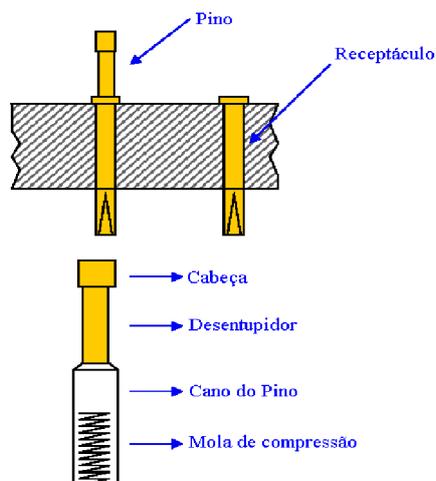


Figura 2.16 – Esquema da constituição do pino.

Na figura 2.16 esquematiza-se a constituição de um pino, enquanto que, na figura 2.17, mostra-se um gráfico obtido de um teste de pinos, sujeitos a cargas. A área A corresponde à área de trabalho para *Push Test*, enquanto que a área B, corresponde à área de trabalho no plano normal. Note-se que estes pinos são componentes que se encontram incorporados na mesa de teste, tendo como função ensaiar os terminais que fazem parte integrante das cablagens, com a finalidade de se verificarem as especificações eléctricas e mecânicas previamente definidas. Saliente-se que a força mecânica de contacto num pino é usualmente linear, ou seja, $F=Kx$, sendo K a constante da mola de compressão, ou então do tipo $F=K(x+x_0)$, quando existe uma compressão inicial x_0 .

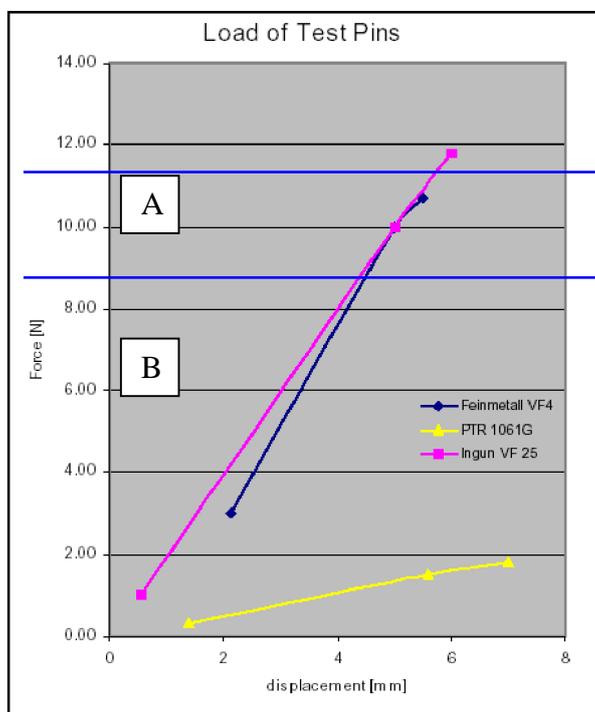


Figura 2.17 – Gráfico do Teste de Pinos, sujeitos a cargas.

2.5.5. Testes de controlo

2.5.5.1. Teste electrónico

Este teste consiste na verificação da continuidade eléctrica e de presença dos componentes específicos.

2.5.5.2. Leak Test

O *Leak Test* [30] é um teste de parâmetros ou teste de requerimentos de todas as partes num conector e é responsável pela verificação das tensões contra fluídos.

Estes parâmetros devem ser definidos pelo fornecedor, assim como os valores da gama de pressão e, quando se procede a uma alteração de parâmetros, essa alteração deve ser indicada na gama recomendada.

Na prática, o *Leak Test* consiste na verificação do risco de fugas de pressão, e engloba os seguintes testes:

- Teste de vácuo na gama 0,5 bar (mudança de valores 0,6 – 0,8).
- Teste de pressão na gama 1,5 bar (mudança de valores 1,2 – 1,4).

Durante o teste, podem acontecer as seguintes situações:

- Se houver uma falha pressurizada na caixa ou qualquer fuga de ar nos pinos, esta é logo detectada por perda de pressão, havendo assim uma má capacidade de selagem.
- Se se obstruir o ar injectado/removido, o sensor de pressão faz o teste de reconhecimento desta falha (figura 2.18).

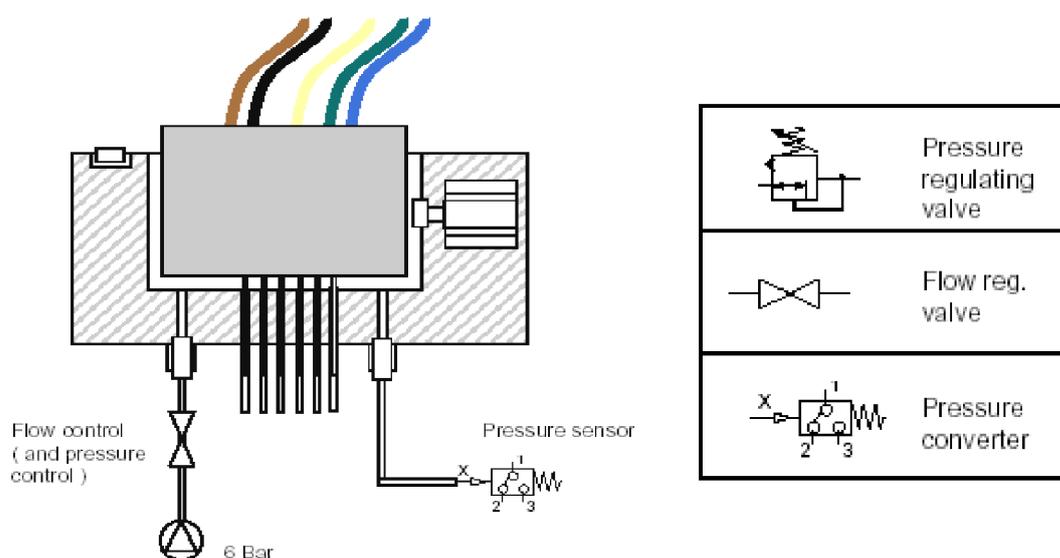


Figura 2.18 – Esquema de uma contra peça, caixa e sistema pneumático.

2.5.5.3. Push Test

O Método do *Push Test* consiste em fazer *Push Back* (pressão mecânica contra o terminal quando este é empurrado), testando assim os terminais encriptados nas caixas. O pino de teste deve ser escolhido cuidadosamente (tendo em atenção o

terminal fêmea/macho), todavia por vezes o cliente especifica as condições de teste e o típico *Push* (força de tracção) situa-se entre 15-30 N ou entre 16 até 100 N [30].

Na figura 2.19 são descritas as diversas distâncias de controlo no *Push Test*:

- Pic 1 - Terminal encriptado na caixa O.K., mantém-se a força *Push*, a detecção da distância é alterada, e a lâmpada verde acende.
- Pic 2 - Terminal mal encriptado entre o travão e a cavidade, com baixa força *Push* (pino de teste do *ROB*), não havendo a detecção da distância alterada, acendendo a lâmpada verde.
- Pic 3 - Situação idêntica à Pic 2, mas a força aplicada é inferior à força *Push*, e o terminal é empurrado e recua. A detecção da distância é alterada e detectada, acendendo a lâmpada vermelha.

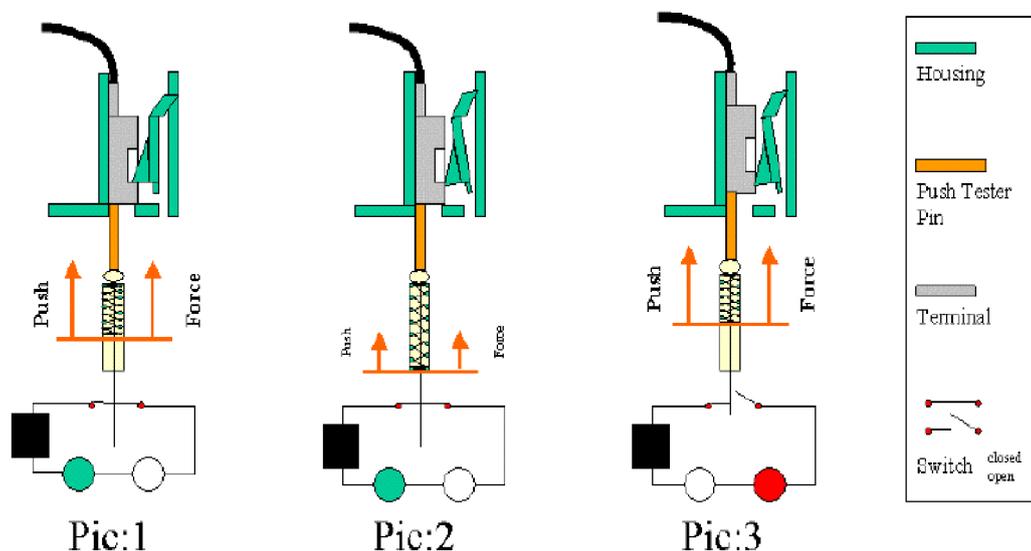


Figura 2.19 – O teste *Push* em relação à distância de controlo.

Falhas no *Push Test*

Como se pode observar na figura 2.20, a mola do primeiro pino está sujeita a uma carga superior e com alta probabilidade de ocorrer uma avaria. Saliente-se que os pinos no *Push Test* têm uma vida útil situada entre 10^4 e 10^5 ciclos. Note-se que, para melhor compreensão, um ciclo corresponde a um ensaio de cablagem, significando isto que, previsivelmente, cada pino consegue assegurar entre 10^4 e 10^5 testes de cablagem.

Na situação do primeiro pino estar morto, isto é, sujeito a uma compressão superior à estipulada, a inclinação da caixa aumenta, como se pode ver na figura 2.21. O

segundo pino é comprimido (a compressão adicional pode conduzir a um deslocamento de 2 a 3 mm) e os pinos sujeitos a falha estão situados no segundo terminal.

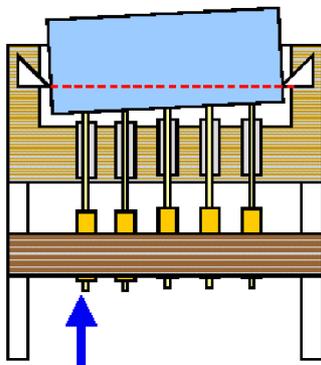


Figura 2.20 – Mola do primeiro pino sujeita a uma carga superior.

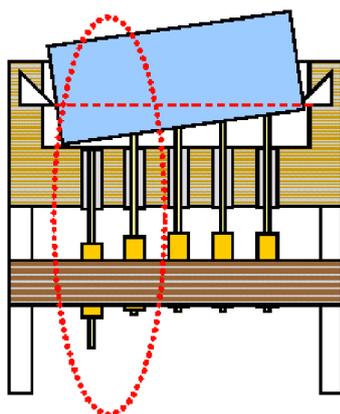


Figura 2.21 – Mola do primeiro pino morta e segundo pino comprimido.

Módulo do Push Test standard

O esquema do módulo com *Push Test* standard encontra-se esquematizado na figura 2.22 [30].

Regulação do *Electronic Test*

A figura 2.23 indica os intervalos de regulação dos seguintes testes:

A. Continuidade:

- Baixa resistência entre 100 até 400 Ohms.
- Valores típicos de 200 Ohms.

B. Curto-circuito:

- Resistência/isolamento superior a 3,5 kOhms.

C. Teste de componentes:

- Circuito fechado: não há resistência na medição.

O teste é executado pela Carta de Pontos e pela Unidade de Processamento.

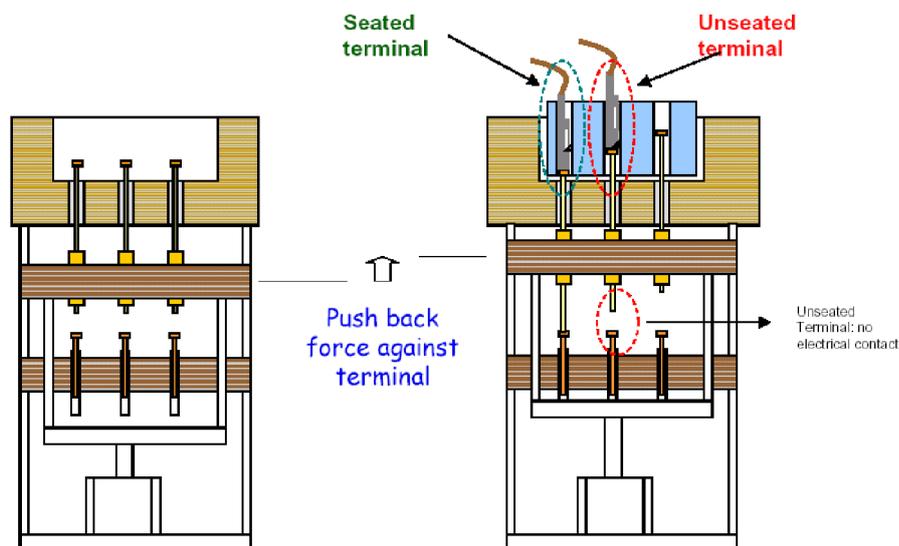


Figura 2.22 – Esquema do módulo com *Push Test* standard.

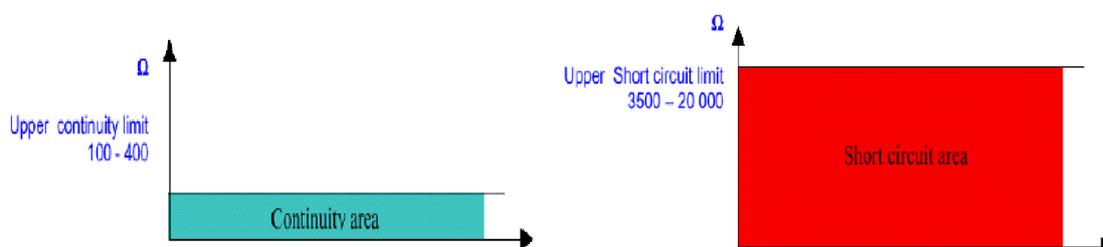


Figura 2.23 – Área de regulação da continuidade e curto - circuito

2.5.5.4. Teste especial

O teste especial consiste na verificação dos componentes e da funcionalidade de outros diferentes tipos de testes electrónicos, tendo em atenção os seguintes ensaios:

- fibra óptica,
- de isolamento,
- de alta voltagem.

Efectuados estes ensaios, o procedimento do programa consiste na etiquetagem e na identificação do produto de acordo com o regulamento da Delphi ou com os requerimentos dos clientes.

2.5.5.5. Teste terminal OK / não OK

Na introdução da caixa no respectivo módulo, uma agulha é accionada assim como o respectivo micro, podendo ocorrer as situações seguintes:

- Caso a agulha entre em contacto com o terminal, o micro não será pressionado, não havendo assim qualquer sinal emitido para a carta electrónica, sendo gerada a mensagem *terminal OK*.
- Em caso contrário, quando a agulha não entra em contacto com o terminal, o micro será activado, o qual enviará um sinal digital que se traduzirá pela mensagem *terminal não OK*. Esta situação acontece quando o terminal apresenta uma geometria ou uma dimensão diferente da agulha.

Este teste tem como finalidade verificar não só se os pinos das cablagens se encontram correctamente encriptados, do ponto de vista mecânico, nas respectivas cablagens, mas também a continuidade eléctrica.

2.5.5.6. Teste travão aberto / fechado

Inicialmente, a caixa tem o *travão aberto*. Inserindo as caixas nos devidos módulos, estas vão accionar um micro de activação das garras por um processo electropneumático e, posteriormente, através da rotina do programa do *ROB*, que emitirá um impulso eléctrico na interface. Este sinal eléctrico irá accionar o cilindro da contra-peça e fechar o travão da caixa, logo, tem-se a situação do *travão fechado*. Finalmente, o micro deixa de estar pressionado e emite o sinal de *travão fechado* à unidade de controlo (figura 2.24).

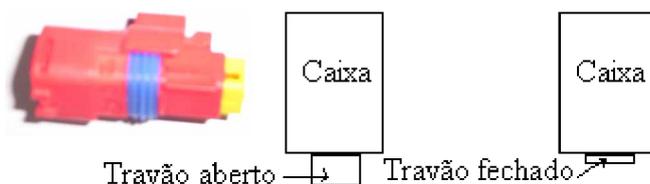


Figura 2.24 – Esquema da caixa com travão aberto e fechado.

2.5.5.7. Teste Short

O teste *Short* consiste na detecção da manga na Cosse através do pino de detecção (figura 2.25). Note-se que a Cosse é um terminal com formato de olhal, cravado na extremidade das cablagens, como se esquematiza à esquerda na figura 2.25.

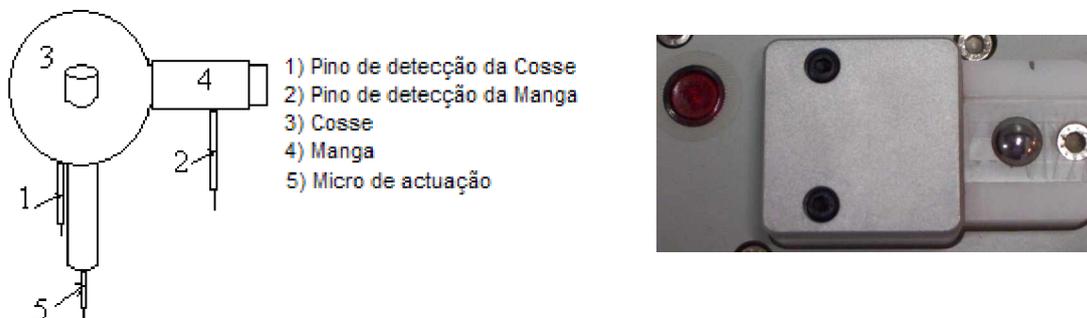


Figura 2.25 – Esquema e constituição da Cosse.

2.5.6. Funcionamento dos módulos existentes

Os fornecedores de Mesas de Controlo Eléctrico existentes nesta unidade fabril são provenientes dos seguintes países: Dinefer (Portugal), TSK (Alemanha), e ABAD e Emdep (Espanha).

2.5.6.1. Módulo da ABAD

Neste tipo de módulo, a actuação é realizada pelo fotodíodo e pelo micro, accionando assim o avanço dos dois micro-cilindros nas garras, fazendo outro cilindro o avanço do cepo. Procedendo ao *Push Test*, dá-se a detecção do travão aberto e a activação da segunda electroválvula que, por sua vez, activa pneumaticamente o fecho do travão. O programa instalado no *ROB* testa a cablagem nas devidas caixas, assim como a validação da cablagem de acordo com as especificações dos clientes.

2.5.6.2. Módulo da Dinefer

A figura 2.26 mostra um bloco da Dinefer com o seguinte funcionamento:

- A electroválvula é activada pelo relé através da actuação do micro e do cilindro de simples efeito que fecha o travão da caixa e efectua o *Push Test*.
- Existe um segundo sensor com a finalidade da detecção do bloco na carta e que valida a cablagem dentro dos parâmetros do cliente.

O processo de validação da cablagem neste equipamento é semelhante ao do módulo da ABAD e a única diferença reside na detecção do travão fechado, ou seja, esta detecção é realizada no cilindro pneumático, para o qual este tem incluído um sensor ou um detector de presença do êmbolo no fim do curso.

A activação do cilindro do fecho de travão é efectuada por uma electroválvula principal, ou seja, que alimenta todos os módulos do *ROB*.

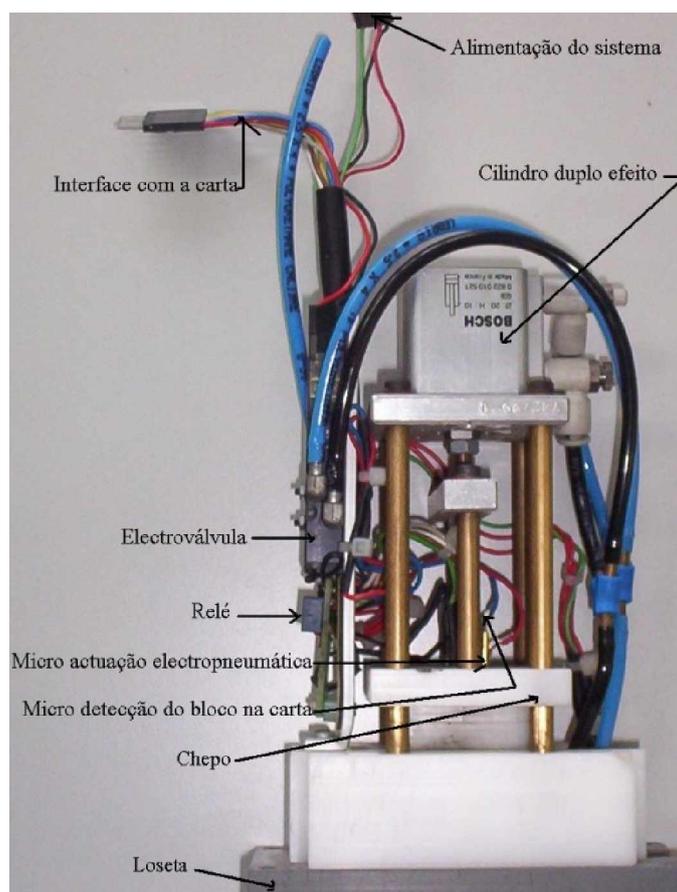


Figura 2.26 – Módulo Dinefer.

2.5.6.3. Módulo da TSK

Este módulo testa a estanquicidade, o travão e o teste electrónico nas vias 1 e 2. O processo de realização dos testes é semelhante ao do módulo anterior, efectuando ainda a execução da estanquicidade, que é executada pela inserção de ar comprimido. Inicialmente, a calibração da pressão é ajustada no módulo com a introdução da caixa sem vedante, sendo esta regulação e calibração realizada através do ajuste do caudal de ar pelo estrangulador e posteriormente pelo sensor.

O passo seguinte consiste em encaixar o vedante na caixa e verificar o funcionamento (figura 2.27).

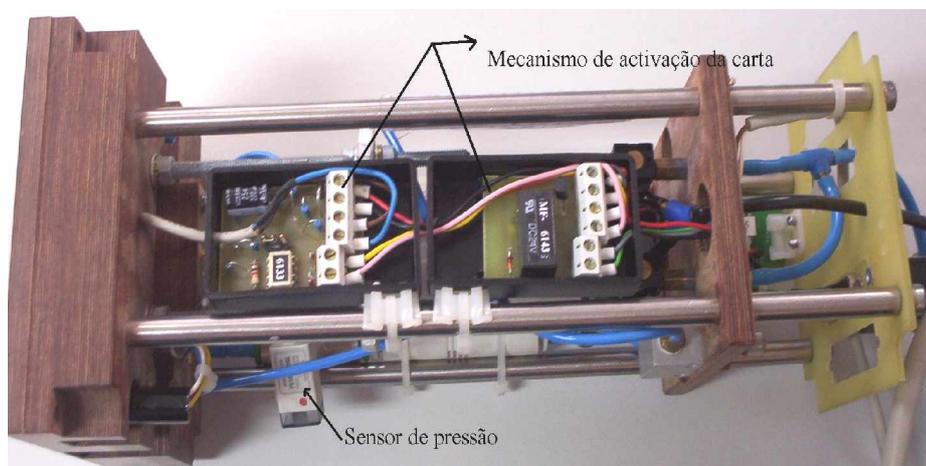


Figura 2.27 – Bloco da TSK com detecção de pressão.

2.5.6.4. Módulo da EMDEP

Neste módulo, que se ilustra fotograficamente na figura 2.28, a detecção e a activação são efectuadas por um micro de activação e por um micro de detecção. A activação acciona a electroválvula e acciona pneumáticamente um cilindro, e a garra. A detecção vai emitir um sinal digital à carta e efectua a validação da cablagem.



Figura 2.28 – Módulo da EMDEP.

2.5.7. Programação, aquisição e interface

Com os *Inputs* e *Outputs* do sistema referidos, descreve-se, em linhas gerais, o *hardware* e o *software*, com função de controlo, monitorização e registo. O programa contém a informação da constituição da malha de cablagem, tais como o número de fios, os conectores de origem, o destino e as detecções.

Cerca de 80% destes equipamentos de controlo eléctrico são programados em EDCAB, que é um programa específico desenvolvido pelo fabricante ABAD INDUSTRIAL S.A., e pela EMDEP, em *Global Tester*, desenvolvido pela *Packard Electric*.

2.5.7.1. Programação em EDCAB

O EDCAB é um método de programação que engloba uma série de utilitários, estando o *software Moncab* presente no equipamento de teste de cada *ROB*. Os utilitários são os seguintes:

- Editor de cablagens: descrição específica de cada fio com os seus dados particulares e interligações, e descrição das caixas que suportam as extremidades acessíveis dos mesmos fios.
- Tabuleiro: programa toda a electrificação do *ROB*.
- Editor de processos: programa os passos do programa de controlo, como por exemplo a sequência que o programa de teste vai seguir para controlar os parâmetros das cablagens.
- Editor de etiquetas: identifica e garante o teste estabelecido.
- Editor de referências: conjunto dos utilitários referidos anteriormente, e que posteriormente é enviado para o equipamento na mesa de controlo eléctrico e que permitirá testar a cablagem.

2.5.7.2. Rack

Consiste no equipamento de aquisição e interface, mostrando-se na figura 2.29 uma *Rack* do tipo B (o tipo encontra-se directamente relacionado com a sua dimensão). Nesta *Rack* podem-se ter 12 cartas de pontos instaladas, cada uma com 64 pinos constituída por 768 pontos. Este equipamento tem a capacidade de suportar 27 cartas de pontos e carta(s) de saídas de *Leds*. Por sua vez, nas figuras 2.30 e 2.31 mostram-se duas cartas electrónicas de pontos, de construtores diferentes.

Por sua vez nas figuras 2.30 e 2.31 mostram-se duas cartas electrónicas de pontos, de construtores diferentes.

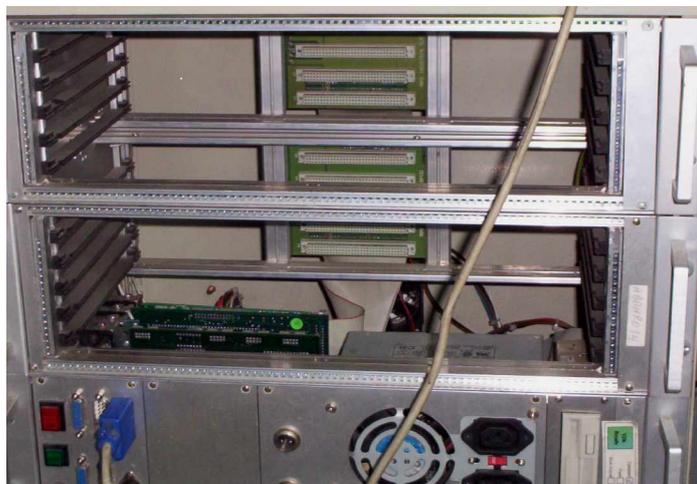


Figura 2.29 – Imagem da Rack.

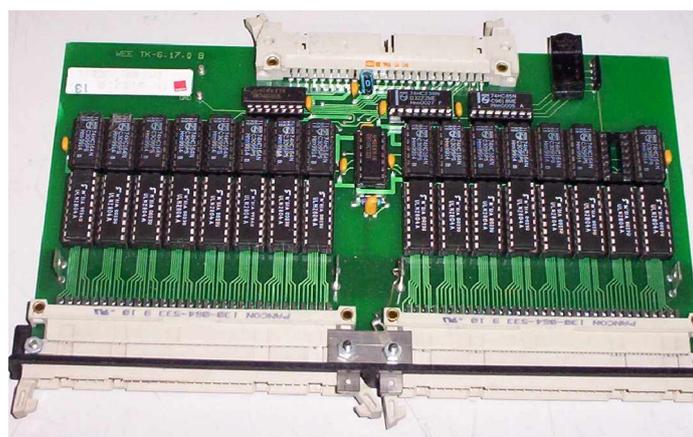


Figura 2.30 – Imagem de uma carta de pontos do *ROB* da Dinefer.

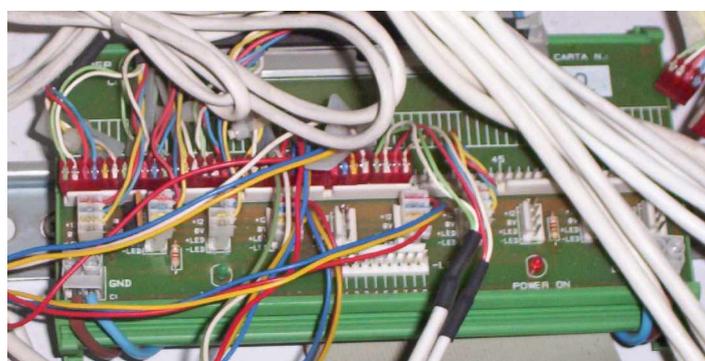


Figura 2.31 – Imagem de uma carta de pontos do *ROB* Emdep.

Cada ponto do módulo deverá ser ligado a um ponto de teste do equipamento. Estes pontos de teste agrupam, por sua vez, um número de variáveis de cartas, cada uma delas com 64 vias.

O tabuleiro deverá conter a conexão das caixas/vias da cablagem, também designadas por *CAIXA/VIAS* (a contra-peça), e outra das conexões com as cartas/bornes do equipamento, designada por *CARTA/BORNES*. Entre ambas as extremidades existem interconexões específicas do tabuleiro.

Em consequência, cada ponto do módulo deverá corresponder a um ponto da carta/bornes do equipamento de teste. Esta correspondência realiza-se nos tabuleiros segundo um conjunto de interconexões.

2.5.7.3. Sistema de teste de cablagem

O *ROB* contém as seguintes cartas electrónicas:

- Carta de díodos *Led*.
- Cartas de I/O de teste.
- Cartas I/O de alto nível.
- Cartas Multiplexagem.
- Cartas I/O de teste.

Como se pode verificar no esquema da figura 2.32, a *Rack* é constituída por uma Carta de Entrada e Saídas (I/O), várias Cartas de Pontos (o número destas cartas depende da capacidade da *Rack*), carta de interface e carta de conversão analógica e vice-versa.

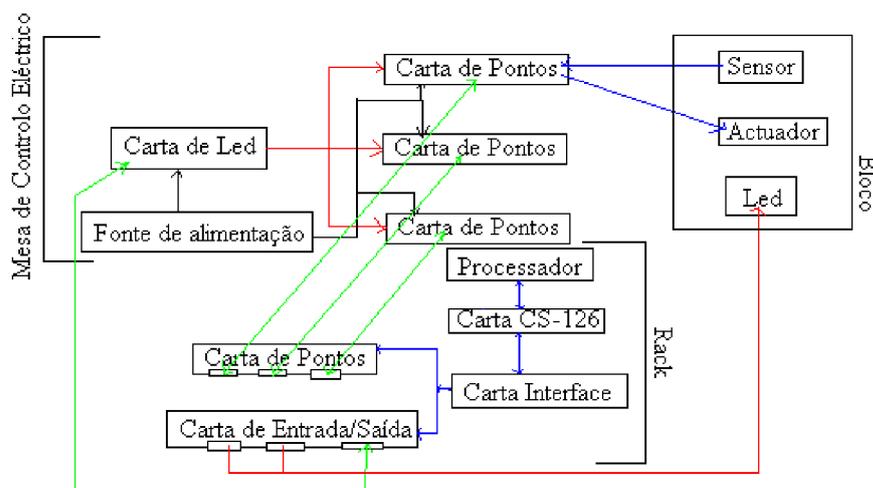


Figura 2.32 – Esquema do processo *interface, inputs e outputs* da *Rack*.

Cada carta de pontos é constituída verdadeiramente por três cartas, cada uma com 64 entradas/saídas e com um interruptor de multiplexagem de carta. A carta de I/O é constituída por duas partes, tendo a primeira parte inserida 134 saídas *LED* e a segunda parte duas cartas 0 e 1, constituídas por 16 entradas e 16 saídas de alto nível provenientes dos sensores e actuadores. A carta interface faz a interligação entre as várias cartas referidas anteriormente. A carta CS-126 realiza a conversão analógico/digital e vice-versa e também é capaz de controlar a alimentação dos seus sistemas de medidas.

A *Rack* HAR-526, sendo um sistema de teste de cablagens baseado na utilização simultânea de sinais de intensidade e de tensão, realiza os seguintes tipos de teste:

- Continuidade (presença de fio) – detecta um valor de resistência eléctrica superior ao programado entre dois pontos pertencentes ao cabo e unidos electricamente entre si.
- Curto – circuito (má conexão) – detecta um valor de resistência inferior ao programado entre dois pontos do cabo electricamente isolado.
- Fio não programado (fio em excesso) – detecta um valor de resistência inferior ao programado entre dois pontos, dos quais um deles não pertence ao cabo.
- Díodos – detectam sua presença e o seu funcionamento correcto.
- Componentes – realiza medidas de intensidade, tensão e resistência entre valores limites programados (superior e inferior), decidindo se o valor medido está entre eles ou é defeituoso por excesso ou por defeito.
- Funcional – pode activar componentes dinâmicos da cablagem, como relés e realiza o teste do circuito eléctrico nas posições de repouso e activos.
- Fuga (intensidade de fugas) – detecta uma resistência de fuga menor que a programada, entre pontos da cablagem.

Na figura 2.33 mostra-se uma carta electrónica de pontos, com as seguintes características:

- 192 pontos de teste, agrupados em três blocos de 64.
- Comutação dos pontos de teste com opto-acopladores.
- $I_{máx} = 50 \text{ mA}$ / $V_{máx} = 275 \text{ V}$.
- Multiplexagem até 256 cartas (49152 pontos de teste).

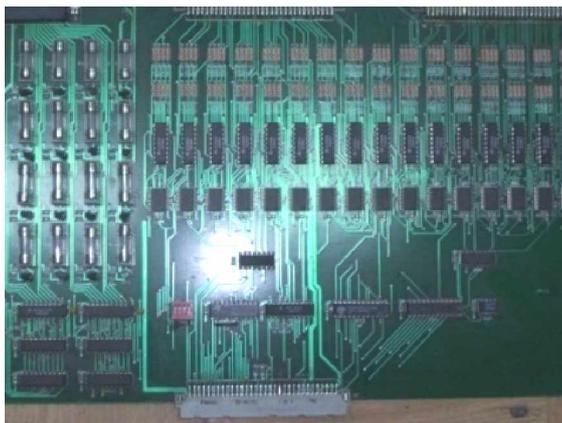


Figura 2.33 – Carta de pontos



Figura 2.34 – Carta CMF-10 (Carta I/O)

Por sua vez, a carta CMF-10 (figura 2.34), apresenta as seguintes características:

- 128 saídas directas para *LED* (máx. 20 mA / 24 V).
- 16 saídas de alto nível, a colector aberto e protecção com fusíveis (máx. 100 mA / 24 V).
- Ligação de entradas/saídas de alto nível relativamente ao conector Sub-D, 37 V.
- Multiplexagem até 64 cartas (8192 *LED*, 1024 entradas e 1024 saídas de alto nível).

Por sua vez, a carta CES-126 tem as seguintes características:

- 8 entradas analógicas de 12 Bits de alta velocidade de conversão.
- 4 saídas analógica de 12 Bits de alta velocidade de conversão.

- 8 saídas digitais.
- 8 entradas digitais.
- capaz de controlar simultaneamente 4 alimentações distintas com os seus respectivos sistemas de medida.

2.6. DETERMINAÇÃO DA *MAINTENANCE SCORECARD*

No caso concreto da aplicação da filosofia manutenção Seis Sigma a esta unidade fabril, discriminam-se no quadro 2.2 os nove indicadores de desempenho utilizados na empresa, relativos aos anos de 2003 a 2007 (ver Parte 1):

- D_o – Disponibilidade Operacional.
- λ – Taxa de falhas.
- *EGE* – Eficiência Global dos Equipamentos.
- *ITE* – Índice de Trabalho Extraordinário.
- *ITA* – Índice Técnico de Actividade.
- *IVP* – Índice do Volume de Produção.
- *IQS* – Índice de Qualidade do Serviço.
- *IEP* – Índice de Efectivos de Pessoal.
- *ITS* – Índice de Trabalho Subcontratado.

Por sua vez, no quadro 2.3 mostra-se a *Maintenance Scorecard*, com o cálculo do nível Seis Sigma, assim como do nível Seis Sigma corrigido, para o triénio 2003-2005 e para o biénio 2006-2007.

Sem dúvida que a filosofia Seis Sigma representa uma metodologia bastante poderosa que permite, através das métricas utilizadas, não só avaliar o desempenho global das organizações assim como de determinados sectores da sua estrutura de funcionamento, como sucede por exemplo com a manutenção industrial, como se prova neste trabalho. Como consequência, permite ainda definir todos os processos de correcção dos diversos indicadores, sobretudo os mais críticos, numa base de melhoria contínua. Observando os níveis Seis Sigma para a filosofia Manutenção Seis Sigma (*Six Sigma Maintenance Scorecard*), relativos à Delphi, facilmente se constata da existência de uma estrutura de manutenção de elevada qualidade, como seria de esperar.

Indicadores	2003	2004	2005	2006	2007
D_o [%]	99,4	99,7	99,6	99,8	99,97
λ [falhas por hora]	$7,47 \times 10^{-2}$	$4,09 \times 10^{-2}$	$4,70 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-2}$
EGE [%]	84	83	81	85	86
ITE [%]	4	4	4	4	4
ITA [%]	89	71	77	69	76,9
IVP [%]	1,89	0,95	1,18	1,20	1,25
IQS [%]	32	45	47	58	54
IEP [%]	1,1	1,4	1,7	1,9	2
ITS [%]	18	31	32	40	38

Quadro 2.2 – Indicadores de desempenho da Função Manutenção.

Períodos	2003 - 2005			2006 - 2007		
	P_n	D_n	$IDMP_n$	P_n	D_n	$IDMP_n$
M1. D_o	20	90	18	20	90	18
M2. λ	20	100	20	20	100	20
M3. EGE	10	100	10	10	100	10
M4. ITE	5	100	5	5	100	5
M5. ITA	10	100	10	10	100	10
M6. IVP	10	100	10	10	100	10
M7. IQS	5	30	1,5	5	50	2,5
M8. IEP	10	100	10	10	100	10
M9. ITS	10	20	2	10	20	2
Cálculos						
IDM	86,5			87,5		
DPU_M	0,1450			0,1335		
número médio de equipamentos por linha de produção	13			13		
$DPMO_M$	11156			10272		
Aeq	0,01116			0,01027		
A(Zeq)	0,98884			0,98973		
m	2,3			2,3		
nível Seis Sigma	3,8			3,8		
factor de correcção	1,36			1,36		
nível Seis Sigma corrigido	5,2			5,2		

Quadro 2.3 – Determinação do nível Seis Sigma para a filosofia Manutenção Seis Sigma (*Maintenance Scorecard*).

PARTE 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1. GENERALIDADES

Como se destacou, de uma forma bastante pormenorizada ao longo desta dissertação, a filosofia Seis Sigma é uma prática fortemente disciplinada, de melhoria contínua, para ser aplicada em processos, produtos e serviços, com o objectivo de reduzir falhas e custos de produção. A sua ideia base consiste em que, se se conseguir avaliar quantas falhas ou defeitos se têm num determinado processo industrial, ou quantos erros se cometem em organizações de prestação de serviços ou na gestão estratégica global das empresas, então, de uma forma sistemática, conseguem-se discernir os procedimentos a adoptar para se eliminar essas falhas e atingir-se a meta “zero avarias” ou “zero erros”, sendo a prevenção conseguida através da utilização de ferramentas estatísticas. Em termos probabilísticos, quando aplicada ao sector industrial, representa uma metodologia que assegura de uma forma quase perfeita os processos produtivos, impondo uma taxa máxima de produtos defeituosos de 3,4 por milhão.

A Seis Sigma pode igualmente ser aplicada de forma global às organizações, com a finalidade de se avaliar e melhorar continuamente o seu desempenho no que respeita às mais valias conseguidas, como sucede com a filosofia *Six Sigma Business Scorecard*, apresentada em 2004 por Praveen Gupta, onde são tidos em consideração diversos parâmetros indicadores do desempenho económico e financeiro. Seguindo esta linha de pensamento, no sentido de se aproveitar as metodologias associadas à filosofia Seis Sigma propõe-se, de uma forma detalhada, a sua aplicação à Função Manutenção (*Six Sigma Maintenance Scorecard*), utilizando as métricas daquela filosofia e os indicadores de desempenho técnicos e económicos relativos a esta Função, introduzindo-se um novo factor de conversão dos níveis seis sigma.

Como é sabido, todos os modelos de manutenção industrial englobam em si todas as políticas de manutenção, ou seja, a manutenção correctiva, a preventiva sistemática, a preventiva condicionada, e a melhorativa. Contudo, tem-se vindo a verificar que as práticas correctivas e preventivas sistemáticas têm sofrido uma redução significativa, contrariamente ao que sucede com as práticas preventivas condicionadas e melhorativas, que têm vindo a aumentar o seu protagonismo, como

seria de esperar. Na prática, e de uma forma usual, o desempenho da Função Manutenção tem vindo a ser avaliado através dos níveis alcançados por todos os indicadores técnicos, económicos e financeiros associados a essa função, sendo necessário recorrer-se a operações de *benchmarking*, para que se tenham bases comparativas. No entanto, na nossa opinião, a adopção da filosofia Manutenção Industrial Seis Sigma permitirá realizar essa avaliação de uma forma bastante mais coerente, na medida em que a base de comparação corresponde a um nível Seis Sigma com o valor 6, ao qual corresponde um desempenho máximo possível. Além disso, esta filosofia é bastante maleável, porque permite não só adoptar qualquer número de indicadores de desempenho, mas também atribuir os pesos considerados mais convenientes a cada um desses mesmos indicadores.

Sem dúvida que a adopção da Manutenção Industrial Seis Sigma obrigará a uma mudança radical da mentalidade das organizações, sendo fundamental o envolvimento de todos os activos humanos para a implementação e apoio dessa mudança. Sendo o trabalho em equipa, e com equipas multifuncionais, a principal preocupação, sugerem-se os seguintes procedimentos gerais para que o sucesso seja garantido:

- Designação dos recursos humanos que serão os responsáveis e coordenadores da supervisão e acompanhamento de todo o processo.
- Desenvolvimento de modelos e metodologias, de forma organizada, e com objectivos e cronogramas claramente pré-definidos.
- Criação de um sistema logístico onde todos os recursos humanos, principalmente os operadores dos equipamentos, possam contribuir com as suas ideias e sugestões para a melhoria contínua pretendida.
- Estabelecimento de um plano coerente de reuniões de trabalho, com a finalidade de se avaliar intercaladamente a evolução de todos os indicadores de definição da Seis Sigma.
- Desenvolvimento de um programa informático, o mais interactivo possível, que permita em tempo real a introdução de todos os dados necessários e a geração da *Maintenance Scorecard* para todos os períodos de avaliação pré-definidos.
- Envolvimento de toda a estrutura produtiva, para a compreensão desta nova filosofia de manutenção industrial.

3.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como é sabido, nenhum tema de investigação fica concluído com a elaboração de uma dissertação, e muito menos numa área emergente e em franco desenvolvimento técnico e científico como o é a manutenção industrial na sua vertente de gestão e organização, tendo sido nosso propósito, através deste trabalho, contribuir modestamente com mais um passo na evolução do conhecimento científico e tecnológico nesta área. Atendendo a que esta dissertação não é, de forma alguma, uma excepção a essa regra, discriminam-se seguidamente quais os tópicos orientadores para a realização de trabalhos de investigação futuros, numa primeira fase em estreita cooperação com a unidade fabril Delphi da Guarda, que nos facultou todos os indicadores solicitados, apesar de não ter ainda, obviamente devido à sua originalidade, instalada esta filosofia de manutenção industrial:

- Elaboração de modelos de gestão e organização que permitam definir de forma clara e inequívoca todas as metodologias e procedimentos associados à manutenção Seis Sigma.
- Desenvolvimento de “sistemas periciais”, baseados em inteligência artificial e redes neuronais, para diagnóstico e localização de falhas.
- Elaboração de suportes informáticos exclusivamente para o tratamento da informação Seis Sigma.
- Estabelecimento das formas mais convenientes e eficazes de obtenção de todos os indicadores necessários à Seis Sigma.
- Definição, escolha e análise dos indicadores mais adequados para o caso concreto de cada organização industrial.

Esta dissertação, elaborada em parceria entre o Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior e a unidade fabril da Guarda da multinacional do sector automóvel Delphi, representa mais uma situação de troca de sinergias entre a universidade e o sector produtivo, e, com toda a certeza, permitirá que esta empresa adopte a filosofia de Manutenção Industrial Seis Sigma, com vista a aumentar ainda mais o seu sucesso produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NETGRÁFICAS

- [1] – João Matias, C. Pereira Cabrita, “*Lean Sigma, Life Cycle Assessment and Maintenance Function: An Introductory Approach*”. Proceedings of the 21st International Congress and Exhibition Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management COMADEM2008, Praga, República Checa, 11-13 de Junho de 2008, p. 331-344.
- [2] – Geoff Tennant, “*Six Sigma: SPC and TQM in Manufacturing and Services*”. Gower House, Aldershot, Reino Unido, 2001.
- [3] – Issa Baas, “*Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*”. McGrawHill, New York, 2007.
- [4] – http://en.wikipedia.org/wiki/Six_Sigma, 2008.
- [5] – C. Pereira Cabrita, “*Caracterização das Filosofias Lean Production, Six Sigma, Lean Sigma e Lean Maintenance*”. Revista Kéramica, 2009.
- [6] – C. Pereira Cabrita, “*Bases Probabilísticas e Estatísticas da Filosofia Six Sigma*”. Artigo aceite para publicação na Revista Kéramica, 2009.
- [7] – C. Pereira Cabrita, “*Lean Production, Six Sigma, Lean Maintenance, Six Sigma Business Scorecard, Six Sigma Maintenance Scorecard*”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2009.
- [8] – C. Pereira Cabrita, “*Contribuição para o Entendimento das Bases Probabilísticas e Estatísticas da Filosofia Seis Sigma. Caracterização da Six Sigma Business Scorecard*”. Artigo aceite para publicação na Revista Manutenção, 2009.
- [9] – Praveen Gupta, “*Six Sigma Business Scorecard. Ensuring Performance for Profit*”. McGraw Hill, New York, 2004.
- [10] – Mikel Harry, Richard Schroeder, “*Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World Top Corporations*”. Doubleday Publishing Group, New York, 2000.
- [11] – <http://www.aeportugal.pt/>, 2006.

- [12] – <http://www.army.mil.com/>, 2009.
- [13] – TBM Consulting, “*Lean Sigma*”. <http://www.tbmcg.com/pt/>, 2008.
- [14] – C. Perreira Cabrita, “*TPM, Manutenção Produtiva Total, Teoria, Métodos e Indicadores de Desempenho*”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2003.
- [15] – Terry Wireman, “*Total Productive Maintenance*”. Industrial Press, New York, 2008.
- [16] – John Moubray, “*Reliability-Centered Maintenance*”. Industrial Press, New York, 1997.
- [17] – C. Perreira Cabrita, “*RCM, Manutenção Centrada na Fiabilidade. Teoria, Métodos, Indicadores de Desempenho, Exercícios*”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2007.
- [18] – SKF Reliability Systems, “*O Guia para a Optimização da Eficiência dos Activos e Melhoria dos Resultados*”. Publicação 5160PT, 2005.
- [19] – C. Pereira Cabrita, “*Manutenção Industrial. Novas Práticas e Filosofias*”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2006.
- [20] – Joel Levitt, “*Lean Maintenance*”. Industrial Press, New York, 2008.
- [21] – C. Pereira Cabrita, “*Filosofias Produção Magra, Seis Sigma, Sigma Magra e a Importância da Manutenção Industrial*”. Artigo aceite para publicação na Revista Manutenção, 2009.
- [22] – Carlos Silva, “*A Função Manutenção na Empresa Industrial. Aplicação a um Caso Concreto de uma Grande Unidade Fabril*”. Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, 2004.
- [23] – Domingos Vieira, “*Estudo da Aplicabilidade de um Modelo de Manutenção a uma Empresa Industrial do Sector Metalomecânico*”. Idem, ibidem, 2008.
- [24] – Vítor Maia, “*Evolução da Função Manutenção numa Empresa Industrial do Sector da Metalomecânica*”. Idem, ibidem, 2008.

- [25] – Paulo Serrano, “*Manutenção de Fiabilidade Pró-Activa: Aplicação a uma Empresa Multinacional do Sector Automóvel*”. Idem, ibidem, 2008.
- [26] – C. Pereira Cabrita, “*Manutenção Industrial Seis Sigma*”. Artigo aceite para publicação na Revista Manutenção, 2009.
- [27] – C. Pereira Cabrita, Paulo Vaz, João Matias, Davide Fonseca, “*Manutenção Industrial Seis Sigma. Proposta de Metodologia e Casos Práticos*”. Aceite para apresentação no 10.º Congresso de Manutenção, Figueira da Foz, 19-20 de Novembro de 2009.
- [28] – C. Pereira Cabrita, Paulo Vaz, João Matias, Davide Fonseca, “*Manutenção Industrial Seis Sigma. Aplicação a uma Unidade Fabril do Sector Automóvel*”. Artigo aceite para publicação na Revista Manutenção, 2010.
- [29] – C. Pereira Cabrita, Paulo Vaz, João Matias, Davide Fonseca, “*Six Sigma Maintenance Scorecard. Theory and Case Study*”. Artigo em conclusão, a submeter ao Journal of Quality in Maintenance Engineering 2009.