

1.INTRODUÇÃO

Na engenharia de manutenção o principal objectivo consiste na combinação de todas as acções técnicas e administrativas, incluindo supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item num estado para o qual possa desempenhar a função requerida. Nesta actividade, a sua estrutura está definida por dois grandes pilares nos sectores produtivo e de exploração de equipamentos, como é o caso da Manutenção Produtiva Total (TPM) e da Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM). Estes modelos têm como finalidade a optimização dos custos, tanto discretos, como sejam os custos directamente envolvidos na manutenção de stocks, recursos humanos, materiais, serviços externos, assim como os custos indirectos afectos ao tempo produtivo e à qualidade que possa estar em causa [1,2,3,4,5].

O TPM tem como principal objectivo a maximização da disponibilidade dos equipamentos de produção, estabelecendo para tal uma meta de “zero avarias”. Para tal, este modelo procura envolver em todas as actividades a participação de todos os recursos humanos de forma a estabelecer programas de manutenção preventiva que cubram o ciclo de vida dos equipamentos.

A manutenção preventiva teve a sua origem nos Estados Unidos e foi introduzida no Japão em 1950. Até então, a indústria Japonesa trabalhava apenas com o conceito de manutenção correctiva, após a falha de um equipamento. Isso representava um custo e um grande obstáculo para a melhoria da qualidade e produtividade. Na busca de uma maior eficiência da manutenção produtiva, por meio de um sistema compreensivo, baseado no respeito individual e na total participação dos colaboradores, surgiu a TPM, na década de 70, no Japão, nomeadamente na Toyota. Nessa época era comum verificarem-se as seguintes características [6,7]:

- Avanço na automação industrial;
- Busca em termos de melhoria da qualidade;
- Aumento da concorrência empresarial;
- Emprego do sistema *Just-In-Time*;

- Maior consciência de preservação ambiental e conservação da energia;
- Dificuldades de recrutamento de mão-de-obra para trabalhos considerados sujos, pesados ou perigosos;
- Aumento da gestão participativa e surgimento do operário polivalente.

Todas estas ocorrências contribuíram para o nascimento da TPM. A empresa preocupava-se em rentabilizar os seus equipamentos e manter ou fazer crescer o seu património, pensando em termos de custo do ciclo de vida da máquina ou equipamento. No mesmo período, surgiram outras técnicas com os mesmos objectivos. Este modelo baseia-se no conceito do ciclo de vida dos equipamentos, que engloba os custos de aquisição, utilização, manutenção e abate (LCC – *Life Cycle Cost*), e tem como objectivo a maximização da disponibilidade dos equipamentos, cuja meta principal é a situação de “zero avarias”, “zero quebras de produção” e “zero acidentes”.

Como objectivos do TPM, podemos enumerar os seguintes [6,7]:

- Zero avarias;
- Desenvolvimento humano;
- Zero defeitos;
- Maximizar o ciclo de vida útil;
- Maximizar o rendimento operacional;
- Zero acidentes;
- Zero quebras de produção;
- Eliminar desperdícios.

A manutenção produtiva total procura eliminar seis grandes perdas, que diminuem o desempenho global dos equipamentos, dividindo-se em três grupos [6,7]:

- **Tempo de paragens**
 - ✓ Paragens devidas a avarias nos equipamentos;

- ✓ Paragens para reposição dos valores de origem, afinações, regulações e registos.
- **Perdas de velocidade**
 - ✓ Reduções na velocidade dos equipamentos, que provocam atrasos no processo produtivo;
 - ✓ Operações em vazio e pequenas paragens.
- **Defeitos**
 - ✓ Defeitos inerentes ao próprio processo, devido à fabricação de produtos não especificados pelo cliente;
 - ✓ Lentidão do processo produtivo devido ao arranque dos equipamentos.

As fases de implementação de um modelo TPM numa unidade fabril, resume-se nos seguintes quatro pilares [6,7]:

1. Pilar de melhorias específicas

Este pilar aborda a eliminação das seis grandes perdas e a eficiência global dos equipamentos envolvidos no processo produtivo, mas não deve levar em linha de conta, de forma separada, a eficiência máxima de cada equipamento, na medida em que essa postura de análise individual poderia gerar desperdícios, de acordo com os seguintes conceitos:

- ✓ A quantidade de produtos a serem fabricados deve ser determinada unicamente com base no número de pedidos, isto é, com base na procura assegurada à partida;
- ✓ Se os processos produtivos de capacidade mais reduzida conseguem produzir a quantidade de produtos requerida, então os processos produtivos de maior capacidade deverão ser mantidos ao mesmo nível daqueles, através da redução da cadência de produção, ou produzir de forma intermitente;
- ✓ Se a capacidade de produção dos processos produtivos de capacidade mais reduzida é insuficiente para assegurar a fabricação da quantidade de produtos requerida, então ela deverá ser melhorada;

Estes conceitos vêm assim contrariar a postura convencional, de que os processos produtivos devem operar sempre com a máxima eficiência.

2. Pilar de manutenção autónoma

Este pilar representa uma das partes mais visíveis da filosofia TPM, onde o impacto visual e as mudanças no ambiente de trabalho são observados com um aumento do compromisso dos operadores dos equipamentos e dos técnicos de manutenção. Com este pilar procura-se:

- ✓ Evitar o desgaste acentuado dos equipamentos, recorrendo-se a inspeções diárias e a intervenções de manutenção bem planeadas;
- ✓ Estabelecer os parâmetros básicos necessários para se manter os equipamentos permanentes em boas condições;
- ✓ Manter as condições ideais do equipamento, através, se necessário, de acções de manutenção melhorativa.

3. Pilar de manutenção planeada

Este pilar tem como objectivo a criação de uma estrutura de manutenção planeada, que consiga fazer com que os equipamentos atinjam a sua disponibilidade operacional máxima. A função manutenção deverá ser gerida e organizada no sentido de se planearem as diversas actividades de manutenção, com o fim de se eliminarem as avarias e as consequentes paragens de carácter aleatório.

Em termos tradicionais, um dos factores que mais contribui, de forma considerável, para a existência de tempos excessivos de paragem dos equipamentos assim como para a reduzida confiança no sector de manutenção da empresa, consiste na necessidade da imprevisão, justificada quase sempre pelo facto de não existirem peças de reposição em stock e porque não existem igualmente ferramentas especializadas na ferramentaria, ou ainda porque os serviços de produção exigem tempos de reparação muito reduzidos, inferiores aos necessários para uma correcta acção de manutenção. Com a adopção do modelo TPM, estas posturas desaparecem completamente, na medida em que se

verifica a participação de todos na resolução dos problemas de produção e de manutenção.

Por outro lado, a existência em stock de consumíveis e de peças sobresselentes de baixa qualidade, conduz a quebras de produção devido à redução da fiabilidade dos equipamentos e à descridibilização do sector de manutenção. Pelo exposto, constata-se haver dois campos totalmente opostos, a clássica conservação industrial e a manutenção planeada, de forma sustentada, exigida como sendo um dos pilares do modelo TPM.

4. Pilar de educação e formação

Este pilar tem como objectivo o aumento das capacidades técnicas dos recursos humanos envolvidos no processo produtivo e nas actividades de manutenção, para que se consiga atingir um grau elevado de confiança no desempenho das suas funções, resultando assim um aumento da motivação, da participação, e da sua satisfação profissional. Através de todas estas melhorias, evidentemente que se conseguirá a maximização da eficiência global da empresa, em todas as suas vertentes. Os princípios deste pilar assentam nos seguintes pressupostos:

- ✓ A delegação de competências e de responsabilidades representa a base da educação e da formação profissional;
- ✓ As pessoas têm que aceitar a sua própria formação, e têm que desejar essa mesma formação, na medida em que a participação é a palavra-chave para despertar o desejo de ser formado;
- ✓ Os procedimentos operacionais representam a descrição dos trabalhos a realizar em cada tarefa concreta, e deverão incluir desejos, fotos, vídeos, para que o trabalho seja normalizado e facilitado;
- ✓ A formação é um meio para se atingir um objectivo;
- ✓ Toda a formação deverá ser acompanhada através da aplicação prática directa dos conhecimentos adquiridos;
- ✓ Quando a estrutura de formação contínua se encontrar consolidada no interior da empresa, as respectivas acções formativas deverão ser padronizadas, para que os conhecimentos

transmitidos em cursos iguais, consecutivos, sejam sempre os mesmos;

- ✓ É necessário criar-se um plano de educação e de formação;
- ✓ Toda a formação conduzida no interior da empresa deverá ser da responsabilidade total da chefia directa dos formandos;
- ✓ O conhecimento caminha na direcção do elogio.

Em cada empresa é importante saber-se qual a complexidade dos seus equipamentos assim como o nível de conhecimentos dos seus recursos humanos, para que se possa elaborar um planeamento consistente das actividades de formação, que deverá ser, obrigatoriamente, de carácter contínuo. Deverá ter-se sempre em atenção as especificidades próprias de cada empresa, ao propor-se um plano de formação, para que possa resultar em sucesso. Torna-se evidente que as necessidades de uma pequena ou média empresa diferem significativamente das de uma grande organização. A prática tem vindo a demonstrar, por estranho que pareça, que as maiores dificuldades que surgem com o desenvolvimento do modelo TPM, provêm exactamente dos recursos humanos ao mas alto nível, ou seja, gerentes, administradores, supervisores e directores de departamentos.

Já o modelo RCM, tem como finalidade determinar para cada equipamento e em função, não só do conhecimento exaustivo das funções dos equipamentos, no contexto em que operam, mas também no conhecimento profundo de todos os seus tipos de falhas e avarias e suas consequências previsíveis, conduzindo a uma conjugação ideal das três grandes políticas de manutenção (correctiva, preventiva e melhorativa).

Em função das grandes mudanças que ocorreram nas últimas décadas, os responsáveis por equipas de manutenção sentiram a necessidade de adoptar um método de trabalho que sintetizasse os novos avanços num modelo coerente, modelo esse que permitisse avaliar os novos desafios e aplicar os novos recursos disponíveis, de uma forma mais radical. A manutenção centrada na fiabilidade foi considerada como a metodologia mais adequada, pois baseia-se nesta filosofia de trabalho, e já foi amplamente

testada durante um longo período de tempo, e em vários segmentos da indústria. 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.

O desenvolvimento da metodologia de RCM, teve a sua origem na indústria aeronáutica nos Estados Unidos, no início da década de sessenta. Nesta altura, todos os aviões americanos, por norma, eram sujeitos a uma manutenção preventiva completa, incluindo a verificação de todos os sistemas e a substituição de muitos componentes. Com o surgimento do Boing 747, três vezes maior do que o maior avião de passageiros até então existente, constatou-se que, aplicar o mesmo conceito de manutenção preventiva no 747, seria inexequível, pois o avião ficaria muito mais tempo imobilizado do que a voar, e o custo da manutenção seria proibitivo.

Assim, a evolução tecnológica das aeronaves, e também a perspectiva do aumento do número de unidades em operação, exigiram uma retrospectiva aos processos de manutenção, visando a segurança operativa destes equipamentos e a racionalização dos custos operacionais das empresas.

No início da década de 70, a *US NAVY* tornou-se a primeira entidade a aplicar a RCM em navios. Em 1980, a RCM passou a ser exigida como técnica de manutenção preventiva em todos os navios da marinha americana, seguidos pelo exército e pela força aérea. A *ERPI (Electric Power Research)* realizou os primeiros trabalhos analíticos para a aplicação da RCM em centrais térmicas e nucleares americanas, o que veio a ser consolidado em 1983, no sistema de arrefecimento de componentes nas centrais nucleares de Turkey Point, aplicação essa seguida com sucesso pela central nuclear de McGuire.

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos promoveu um “estudo do estado da arte” da manutenção na área da aviação comercial. Como resultado, Nowlan e Heap publicaram em 1978 o relatório intitulado “RCM –

Reliability Centered Maintenance” que constitui um marco para o estabelecimento do conceito de Manutenção Centrada na Fiabilidade. Mais tarde, no início dos anos 80, e como referido anteriormente, a RCM passou também a ser aplicada nos demais segmentos da área industrial e não somente na da aviação [1,8,9].

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 na metodologia RCM e nas respectivas técnicas aplicáveis, apoiadas 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 por tal, não têm efeitos imediatamente visíveis, mas que podem culminar em graves consequências. Posteriormente, e de uma forma sistemática e devidamente estruturada, analisam as consequências dessas avarias na segurança dos bens e pessoas, na continuidade do processo e no ambiente, através de uma metodologia específica e recorrendo ao apoio de programas informáticos, dispendo de algoritmos que permitem estudar as avarias dos equipamentos, estabelecendo, posteriormente, qual a política de manutenção mais vantajosa a ser aplicada aos equipamentos ou à sua instalação em causa, tendo em conta os riscos assumidos à partida pela empresa.

O modelo RCM promove, assim, a aplicação de políticas de manutenção fundamentais no conhecimento completo das funções do equipamento, no contexto em que está a operar, e no conhecimento profundo dos seus tipos de avarias e suas consequências, como resultado do estudo detalhado, por parte dos grupos de trabalho, dos seguintes aspectos [8,9]:

- ✓ Funções do equipamento e seus requisitos padrão;
- ✓ Análise das suas avarias funcionais e respectivos tipos e efeitos, através do método FMECA – *Failure Modes Effects and Criticality*

Analysis (Consequências dos Tipos de Falhas e Análises das Criticidades);

- ✓ Consequências das avarias na segurança, no ambiente e na produção (avaliação de riscos);
- ✓ Definição da política de manutenção aplicando a metodologia específica da RCM à informação previamente obtida, recorrendo a acções de:
 - Manutenção preventiva;
 - *Default*, para os casos em que não é possível identificar acções de natureza preventiva, e que incluem inspecções periódicas e o cálculo da sua periodicidade efectuadas aos sistemas protecção;
 - Manutenção correctiva e modificações.

A implementação da RCM requer então a adopção de uma sequência lógica de etapas, que compreendem a delimitação do sistema objecto da aplicação, a análise funcional pela definição das funções de todos os seus principais componentes e as possíveis falhas funcionais associadas a essas funções, e a utilização da Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA), aplicada às falhas funcionais anteriormente definidas.

A RCM baseia-se nos seguintes princípios:

- ✓ O importante é a função do sistema ou componente e não o tipo do equipamento ou componente;
- ✓ Alguns equipamentos ou componentes apresentam diferentes formas de falha, desde falhas que não afectam a função, até às que podem causar uma catástrofe;
- ✓ É necessário estabelecer prioridades e só executar manutenção preventiva nos equipamentos ou componentes cuja função é prioritária;
- ✓ Utilizar a manutenção preventiva sistemática somente quando a substituição aumentar a fiabilidade do equipamento ou componente;
- ✓ Ênfase na manutenção condicionada;

- ✓ Análise das funções e dos modos de falhas através de grupos multifuncionais de trabalho.

A Manutenção Centrada na Fiabilidade é, portanto, uma metodologia estruturada que procura garantir que o equipamento desenvolva as funções dele requeridas, segundo os padrões de especificação para os quais foi projectado, levando em consideração o seu contexto operacional. Como se depreende devem-se considerar algumas questões básicas, conforme indica o quadro 1.

A partir da sequência de questões básicas, conforme preconizado pela metodologia RCM, são aplicados algoritmos para a avaliação de consequências e de selecção das formas de manutenção mais adequadas a cada modo de falha, obtendo-se o plano de manutenção a ser implantado, após considerações dos aspectos técnicos e económicos.

Itens de análise	Questões básicas
Identificação das funções	Quais são as funções e os padrões de desempenho no contexto operacional actual?
Identificação das falhas funcionais	De que forma o equipamento falha no cumprimento das suas funções?
Identificação dos modos de falha	Como ocorre a falha funcional?
Identificação dos efeitos das falhas	De que forma a falha se manifesta?
Identificação das consequências das falhas	Qual a relevância de cada falha?
Definição das tarefas de manutenção	O que pode ser feito para prevenir cada falha?
Tornar a projectar ou operar até que se verifique a avaria	O que não pode ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva adequada?

Quadro 1: Questões básicas para a aplicação da RCM.

A RCM configura-se como um recurso estratégico organizacional, da área de manutenção, que introduz uma mais-valia no processo produtivo na

medida em que incentiva o surgimento e a disseminação do conhecimento. Sendo assim, possibilita uma melhoria contínua do desempenho técnico dos equipamentos, através da participação dos profissionais envolvidos, resultando numa maior disponibilidade, fiabilidade e, conseqüentemente, numa optimização dos custos operacionais [8,9].

De entre as diferentes metodologias aplicadas à área da manutenção, a Manutenção Centrada na Fiabilidade tem obtido um destaque crescente, ao ser adoptada por empresas de diversos sectores industriais. A análise e aplicação da RCM focaliza as funções dos equipamentos e dos sistemas, no seu contexto operacional, os modos de falhas e as suas conseqüências, caracterizando-se como uma importante metodologia para a definição estruturada dos planos de manutenção.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que esta metodologia visa alcançar o melhor desempenho operacional, ou seja, a máxima disponibilidade e a fiabilidade das instalações, com custos operacionais adequados. Além disso, destaca-se uma criteriosa avaliação das conseqüências das falhas para a segurança, para o meio ambiente e para o processo produtivo [8,9].

Realizando uma análise resumida dos dois modelos, pode-se dizer que o primeiro caracteriza-se pelo envolvimento e participação de todos os recursos humanos nos objectivos e actividades produtivas das empresas, obrigando ao estabelecimento de programas de manutenção preventiva que cubram o ciclo de vida dos equipamentos, e a promoção da execução de operações de manutenção por parte dos operadores dos próprios equipamentos, sendo o objectivo fundamental a maximização da disponibilidade dos equipamentos de produção, através da meta “zero avarias”. Quanto ao segundo modelo, incentiva e promove a utilização de políticas de manutenção que se fundamentam não só no conhecimento exaustivo das funções dos equipamentos, no contexto em que operam, mas também no conhecimento profundo de todos os seus tipos de falhas e avarias e suas conseqüências previsíveis.

A par dos modelos tradicionais TPM e RCM, com a finalidade de se alcançar aquele propósito, têm vindo a ser desenvolvidas outras filosofias, baseadas nesses modelos tradicionais, todavia mais aligeiradas e vocacionadas para as especificidades próprias de cada empresa, como sucede com a Fiabilidade de Implementação Rápida (QSR – *Quick Start Reliability*), a Manutenção Centrada na Fiabilidade Simplificada (SRCM – *Streamlined Reliability Centered Maintenance*), a Manutenção Baseada no Risco (RBM – *Risk Based Maintenance*), a Manutenção de Fiabilidade Pró-activa (PRM – *Proactive Reliability Maintenance*), e a Fiabilidade Centrada no Operador (ODR – *Operator Driven Reliability*). Estas novas filosofias de manutenção industrial, desenvolvidas pela empresa *SKF Reliability Systems*, baseiam-se nos grandes modelos TPM e RCM, sendo mais simplificadas e de mais fácil aplicação, permitindo às empresas, independentemente da sua dimensão, disporem de estruturas de manutenção verdadeiramente eficientes e rentáveis [10,11].

2.MANUTENÇÃO DE FIABILIDADE PRÓ-ACTIVA

A história da manutenção industrial é bastante longa e sempre acompanhou o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade. Em relação à evolução da manutenção, é possível balizar esta evolução em várias etapas [2,5]:

Etapa 1: Reparar a avaria – Considerando que, desde sempre, o homem terá procurado reparar os utensílios que lhes tinham custado um investimento em trabalho e materiais, podemos dizer que a manutenção é tão antiga como o engenho humano. Segundo Pascoli, os primeiros indícios de manutenção remontam ao início do século X, onde os *Vikings* reparavam as suas esquadras para o sucesso das suas novas conquistas. O termo “manutenção” propriamente dito na sua versão inglesa, é registado pelos dicionários desde o século XVI com o significado de “acto de manter reparado”. No entanto, é só pela terceira década do século XX que se começa a sentir a necessidade e a importância de se autonomizar a Função Manutenção, atribuindo a sua responsabilidade a equipas especificamente constituídas para o efeito. Nesta primeira etapa a preocupação dominante foi, portanto, a

recuperação do investimento realizado nos bens de equipamento através da restauração da sua operacionalidade. O protagonista desta etapa foi fundamentalmente o operador.

Etapa 2: Evitar a avaria – O grande esforço de produção associada à Segunda Guerra Mundial e à recuperação económica do pós-guerra impuseram às linhas de produção ritmos de trabalho incompatíveis com as demoradas paragens para reparação de avarias. Houve, então, a necessidade de organizar a manutenção de forma a actuar nos equipamentos durante os tempos mortos da produção, mas com uma eficácia que reduzisse ao mínimo as paragens por avaria em plena laboração. Surge assim a manutenção planeada como ainda hoje se pratica. A preocupação dominante, nesta etapa, era a disponibilidade dos equipamentos. O seu protagonista passa a ser o especialista de manutenção, e nasce a manutenção preventiva.

Etapa 3: Adivinhar a avaria – O enorme avanço tecnológico registado desde a década de 60, traduzido na generalização do uso do computador, no maior domínio dos processos de fabrico e no melhor conhecimento dos materiais, permitiu lançar novas formas de manutenção em que se procura, à mesma, evitar a avaria, mas intervindo no equipamento de forma “cirúrgica”, isto é, de forma localizada, quando os sistemas de diagnóstico indicam que a avaria está iminente, em vez da intervenção sistemática e periódica, característica da etapa anterior. É nesta etapa que nasce o conceito da manutenção preditiva ou condicionada, preventiva e melhorativa, sendo estes os conceitos estratégicos de Manutenção Pró-activa.

Etapa 4: O fim da manutenção? – Está fora de questão, pelo menos num futuro próximo. Mas, seguramente, menos manutenção. Nos dias de hoje, é já possível conseguir melhorias de fiabilidade de tal ordem que há equipamentos que atravessam toda a sua vida útil sem sofrer uma única avaria. Na integração em larga escala, nomeadamente na electrónica, tornou-se obsoleta a reparação a nível de componente, generalizando o conceito do módulo descartável, sendo, muitas vezes a própria máquina que indica qual o módulo deficiente a necessitar de substituição. Em muitos casos tem sido possível substituir mecanismos extremamente sensíveis por módulos electrónicos sem uma única peça móvel, como por exemplo a instrumentação de medida ou até os giroscópios de aviões. O protagonista está agora a

transferir-se para o fabricante dos equipamentos, ou seja, a manutenção de hoje nasce com o equipamento. Mas poder-se-á colocar a hipótese do fim da necessidade da actividade de manutenção, mas esta hipótese não se pode colocar, porque continuam a coexistir diferentes requisitos de manutenção. E, depois, porque os processos produtivos são muito variados e cada um tem um tipo de manutenção mais ou menos específico. Por isso, não só é necessária a manutenção, como é preciso que ela se ajuste perfeitamente à diversidade de situações existentes na empresa: tecnologia de equipamentos, tipo de produção, regime de laboração e, até, qualificação de pessoal.

De modo a que as empresas hoje não percam a corrida da competitividade, novas estratégias de manutenção, algumas bastante recentes, começam agora a ser implementadas nas empresas, de entre as quais se destacam a Manutenção Preventiva Condicionada e a Manutenção Melhorativa. A Manutenção Preditiva ou Manutenção Condicionada surge como a evolução lógica de um modelo puramente preventivo, onde os intervalos de intervenção, apesar de poderem ser otimizados recorrendo a várias metodologias, não levam em consideração o estado real dos equipamentos, para um modelo preditivo, onde a degradação dos equipamentos é controlada e as intervenções efectuadas de acordo com o observado.

Nos dias de hoje, existem algumas organizações cuja visão da função de manutenção não é meramente a de um centro de custos, mas sim uma função inevitável à qualidade e à produtividade, envolvendo a função manutenção nas ferramentas da melhoria contínua da qualidade. A Manutenção Pró-activa tem recebido a atenção mundial como o meio mais importante de alcançar economias inalcançáveis utilizando as técnicas convencionais. Nesta manutenção dá-se a substituição de “falha reactiva” por “falha pró-activa” evitando assim as condições subjacentes que provocam novas falhas e degradação do equipamento.

As novas filosofias passaram a ser pró-activas, na melhoria dos activos, a manutenção deixou de ser meramente um centro de custos, um mal

necessário, uma função reactiva à resolução de problemas, passando a ser uma função pró-activa, trazendo imensas valias competitivas à organização.

A Manutenção de Fiabilidade Pró-activa tem como objectivo garantir permanentemente a melhoria da eficiência dos activos da produção. Através da implementação de um conjunto de acções associadas a uma estratégia de Manutenção Pró-activa, consegue-se garantir a melhoria da eficiência global das instalações produtivas. Esta filosofia, ao contrário da manutenção tradicional, que forma um círculo de manutenção sustentada, permite a formação e um círculo de aperfeiçoamento contínuo (figura 1). Esta filosofia baseia-se nos seguintes princípios [5,10]:

- **Manutenção Preditiva**

É um tipo de manutenção que pretende conhecer a informação permanente do estado e operatividade das instalações mediante o conhecimento dos valores de determinadas variáveis, representativas do estado e operatividade. Para aplicar esta manutenção é necessário identificar variáveis físicas (temperatura, vibração, consumo de energia, entre outras) cuja variação seja indicadora de problemas que podem estar a verificar-se no equipamento. É um tipo de manutenção mais tecnológico, pois requer meios técnicos avançados, e fortes conhecimentos matemáticos, físicos e técnicos. Todas as informações recolhidas deverão ser utilizadas como base para o diagnóstico completo da falha, com a finalidade de se determinar quais as acções preventivas que serão necessárias para se prolongar o tempo de vida útil dos equipamentos.

- **Análise da Causa Raiz da Falha**

Nesta etapa pretende-se determinar com toda a exactidão a causa responsável do problema. É necessário realizar uma análise com um elevado nível de investigação a todos os componentes e órgãos intervenientes de forma a garantir com bastante precisão a elaboração de um registo histórico, com a finalidade não só de se evitarem futuramente todas as falhas ocorridas, recomendando acções mais intensas e complexas de manutenção preventiva, mas também estudar

e propor intervenções de manutenção melhorativa no caso de equipamentos críticos e pouco fiáveis. A Manutenção Pró-activa cria acções que têm como finalidade a descoberta das causas da falha raiz, não apenas sintomas. Na maioria dos casos, os sintomas da falha mascaram a causa raiz ou são eles próprios considerados como a causa. Por exemplo, a falha súbita de um rolamento é, com frequência, considerada como causa de um lubrificante de má qualidade. A causa raiz, por outro lado, pode ser a contaminação do lubrificante ou a instalação defeituosa do rolamento.

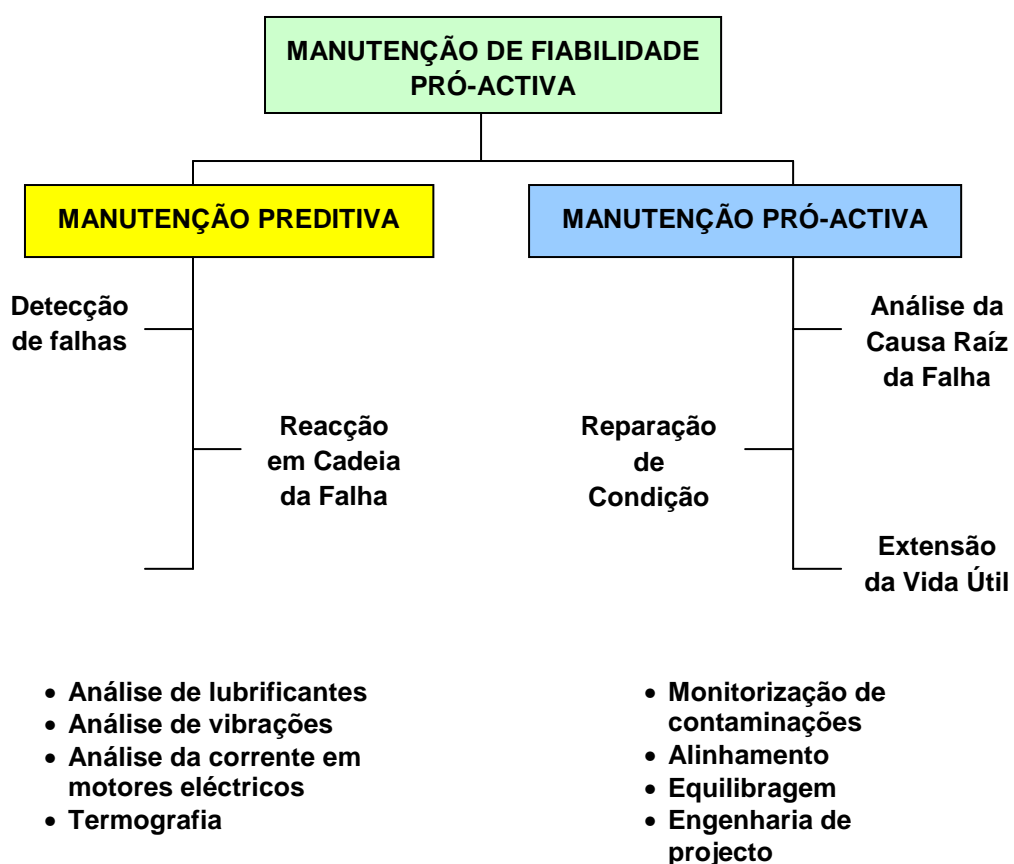


Figura 1: Estrutura de Manutenção de Fiabilidade Pró-activa.

- **Indicadores Chave de Desempenho**

Os indicadores chave de desempenho, mais conhecidos por *KPI* (*Key Performance Indicators*), destinam-se a tentar alcançar metas de aperfeiçoamento do desempenho dos equipamentos, estabelecidas entre os responsáveis das unidades fabris e os profissionais da

manutenção, podendo estes, serem subcontratados ou profissionais internos à empresa. Existe na prática uma variedade enorme de indicadores a considerar, como por exemplo as paragens não programadas, a quantidade de produtos fabricados, a eficiência global da unidade fabril, os custos de manutenção, a relação entre estes custos e os lucros obtidos, o MTBF, o MTTR, o MDT, o MTBM, e as disponibilidades operacionais. Estes indicadores deverão igualmente ser utilizados para se determinar o número de efectivos necessários para se manter os actuais activos da empresa, e quais as suas qualificações profissionais actuais ou desejáveis no futuro imediato.

- **Revisão Operacional**

Os indicadores chave de desempenho deverão ser tidos em consideração, através de um processo de revisão periódica, devendo os resultados daí decorrentes ser apresentados e analisados por parte dos profissionais da manutenção. Estes resultados devem ser tidos em consideração de forma a assegurar que o processo seja melhorado de uma forma contínua.

Existem várias discussões acerca da verdadeira natureza da Manutenção Pró-activa. A mais usual é definir a política de Manutenção Pró-activa como a resultante das três políticas de manutenção, isto é, preventiva, preditiva e melhorativa.

No entanto, a política de Manutenção Pró-activa é mais que a resultante das três políticas de manutenção preventiva, preditiva e melhorativa. Uma Manutenção Pró-activa consiste em utilizar as ferramentas da melhoria contínua, propôr melhorias, propôr investimentos, ser um pilar nos assuntos de segurança, saúde e higiene no trabalho, ter uma política de recursos humanos motivadora, dotada de um guia de valores, e é ter uma preocupação com a qualidade e produtividade, e ter a sensibilidade da preservação do meio ambiente, como se pode verificar na figura 2 [5]:

Devido às exigências actuais das organizações, as políticas de manutenção evoluíram no sentido de uma política de Manutenção Pró-activa,

que tem por base as tarefas preditivas, as tarefas de busca de falha ao nível da segurança e do meio ambiente (manutenção condicionada), ou por defeito (manutenção correctiva), as preventivas (sistemáticas ou não) e as tarefas de melhoramento ou de investimento, bem como as consequentes acções correctivas. A manutenção melhorativa requer assim o estudo, projecto e realização de alterações no equipamento com o objectivo de eliminar operações de manutenção.



Figura 2: Círculo de Manutenção de Fiabilidade Pró-activa.

3.FIABILIDADE CENTRADA NO OPERADOR

A Fiabilidade Centrada no Operador, também conhecida como ODR (*Operator Driven Reliability*) é uma metodologia aplicada globalmente por uma

empresa, centrada no trabalho de equipa de forma a otimizar a operação dos equipamentos e melhorar as funções da operação e manutenção local. A Fiabilidade Centrada no Operador tem um impacto directo na eficiência dos equipamentos, contribuindo para uma optimização da produção e um retorno de curto prazo no investimento associado à sua implementação. A Fiabilidade Centrada no Operador incorpora a combinação das acções associadas à manutenção e à produção tendo como objectivo melhorar os resultados de exploração das unidades produtivas.

Para se introduzir esta filosofia nos processos de uma unidade industrial, há que seguir as seguintes etapas [5,10]:

1. Importância dos operadores

O papel dos operadores é fundamental para a fiabilidade dos equipamentos, visto que se encontram em contacto directo com esses equipamentos a maior parte do tempo. São os primeiros a detectarem as primeiras incidências, sendo de elevada importância que as relatem. O tratamento das informações respeitantes a essas anomalias, retratadas pelos operadores, normalmente representa a diferença entre uma imobilização do equipamento, devida a falhas aleatórias, e a prevenção das falhas, permitindo à ODR a elaboração de uma metodologia que assegure não só a detecção antecipada de falhas mas também a aplicação de acções correctivas imediatas.

2. Partilhas dos activos

Esta filosofia conduz a uma cultura de partilha, entre os recursos humanos afectos à Função Produção e à Função Manutenção, permitindo uma maior contribuição entre si e um maior nível de satisfação no trabalho. Como se ilustra abaixo, a equipa de operação é responsável pela fiabilidade do processo produtivo, enquanto que a equipa de manutenção se responsabiliza pela fiabilidade dos equipamentos e, em conjunto, contribuem para a optimização da eficiência dos activos, como se mostra na figura 3.

3. Manutenção Produtiva Total

A nova filosofia ODR permite completar o modelo TPM, oferecendo todas as suas vantagens, uma vez que acentua ainda mais a colaboração entre os recursos humanos afectos à produção e à manutenção. Nas empresas onde ainda não exista a TPM, a adopção da ODR poderá significar um estímulo à sua implementação.

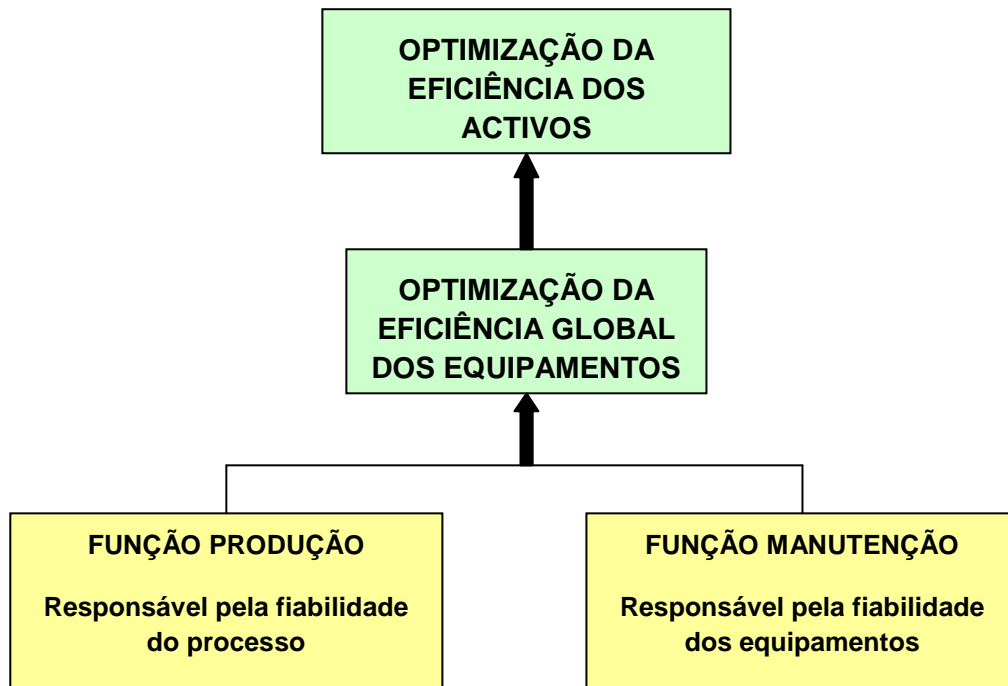


Figura 3: Vantagens da partilha de competências entre as Funções Produção e Manutenção.

4. Automatização da obtenção de dados

Como é sabido, a colecta de dados realizada pelos operadores dos equipamentos, de um modo convencional, isto é, em papel, é uma tarefa morosa e que conduz a um desperdício de tempo e perda de informação, daí que seja de todo aconselhável a recorrência a meios informáticos, neste caso concreto a computadores portáteis, contribuindo assim para a optimização da eficiência dos activos, assim como para a motivação profissional dos próprios operadores.

5. Trabalhos de equipa

Apesar da generalização e vulgarização do uso de tecnologias informáticas, existe ainda bastante informação compartimentada no interior

das empresas, todavia a adopção da ODR, ao interligar entre si praticamente todos os sectores produtivos, incute uma consciência e uma cultura interdisciplinares em todos os recursos humanos.

6. Planos de manutenção

Um dos principais resultados da definição de uma estratégia coerente de manutenção, reside na elaboração de um plano estruturado de trabalho e de uma lista de actividades a afectar aos recursos humanos, quer da produção quer da manutenção, inserindo-se os programas da ODR nesses requisitos, vinculando assim directamente as actividades do dia a dia à estratégia global de desenvolvimento das unidades fabris.

7. Suporte informático

Para que a implementação de uma filosofia ODR seja eficiente e eficaz, é fundamental que seja acompanhada por um suporte informático o mais completo possível, que inclua *software* de aplicação desenvolvido especificamente para o efeito, permitindo aos operadores recolher facilmente três categorias de dados:

- ✓ Dados de processo – pressões, caudais, temperaturas, correntes eléctricas;
- ✓ Dados de inspecção sensorial – observações visuais, controlo sensorial;
- ✓ Dados de condição – vibrações e temperatura.

Para que o *software* seja o mais eficaz possível, à medida que se processa a recolha de dados deve fazer recomendações específicas quando detecta condições de funcionamento anómalas, recomendações essas que são previamente definidas pela direcção de manutenção, permitindo aos operadores não só que executem acções correctivas imediatas nas situações em que disponham de conhecimentos técnicos e de ferramentaria adequada mas também, para situações complexas, que emitam pedidos de intervenção mais especializada, dirigidos aos serviços de manutenção.

Esta filosofia, com foco na tecnologia dos processos, comporta vantagens como aumentar as acções pró-activas dos recursos humanos da organização em todos os departamentos, bem como a optimização dos activos

da empresa. Esta filosofia pode ser utilizada para modificar a cultura de uma empresa, na sua política, competência, preconceitos, desconfiança, inércia, desmotivação, insegurança, entre outros. As pessoas, por vezes, opõem-se à mudança porque acreditam que já atingiram um domínio completo do que fazem hoje. De uma maneira geral, os benefícios inerentes a esta nova filosofia são os seguintes [5,10]:

- ✓ Mais olhos a observar os sistemas;
- ✓ Melhoria dos resultados de monitorização e detecção precoce de avarias;
- ✓ Promoção pró-activa da análise de falhas;
- ✓ Operadores mais atentos e motivados para a acção;
- ✓ Execução mais rápida de acções operacionais;
- ✓ Oportunidades contínuas para melhorias;
- ✓ Equipamentos a operar sem problemas;
- ✓ Níveis de produção mais elevados;
- ✓ Melhoria da qualidade do produto;
- ✓ Redução dos custos de manutenção;
- ✓ Ambiente pró-activo;
- ✓ Alianças interdepartamentais;
- ✓ Mudança para uma cultura de fiabilidade.

4.INDICADORES DE DESEMPENHO

A redução do desempenho do equipamento, implica a diminuição da qualidade e da produtividade, mas pode ser evitada com políticas adequadas de manutenção que garantem a eficiência do equipamento. A falta dessas políticas, além da redução da capacidade do processo, acarreta perdas efectivas do equipamento, reduzindo a sua disponibilidade.

A disponibilidade dos equipamentos depende da fiabilidade e da manutenibilidade por eles apresentados. Apesar dos valores de fiabilidade e manutenibilidade serem, por definição, factores intrínsecos do equipamento e dependerem da concepção do seu projecto, eles são afectados por outros factores, como a formação dos recursos humanos, a disponibilidade de peças,

a limpeza e condição geral do equipamento. Uma política adequada de manutenção deve então manter a capacidade e a disponibilidade da máquina, evitando quebras (aumento da fiabilidade) e criando condições de uma intervenção correctiva rápida e eficaz, quando a falha ocorrer (aumento da manutenibilidade). Tendo em consideração que, infelizmente, não existem equipamentos perfeitos, na prática há que admitir que não têm uma durabilidade infinita, e que, durante o seu tempo de vida útil, haverá alguns períodos de inactividade, por se encontrarem inoperacionais devido ao facto da ocorrência de avarias ou por estarem sujeitos a acções de manutenção planeada.

O conceito de “fiabilidade” (aptidão para contribuir para um desempenho sem falhas) em conjunto com o “desempenho técnico” (aptidão para a utilização em condições de segurança e conforto) e a “produtividade” (aptidão para o lucro máximo com custo mínimo) representam as três vertentes da “eficácia” de um equipamento. A missão da manutenção, em qualquer unidade produtiva, consiste em manter e melhorar a disponibilidade dos equipamentos pelo menor custo. Com efeito, se são evidentes as responsabilidades da Função Manutenção pela disponibilidade operacional dos equipamentos e instalações, deverá ser na fase de projecto e construção dos equipamentos que se pode intervir nas características desses mesmos equipamentos, relativas à sua fiabilidade e manutenibilidade, que irão no futuro considerar a disponibilidade operacional [1,2,5].

A disponibilidade de um equipamento é a probabilidade que o equipamento tem de assegurar a função para a qual foi produzido, num determinado momento. Em termos matemáticos, a Disponibilidade Intrínseca é dada pela seguinte expressão [1,2,6,8]:

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

em que MTBF representa o *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio Entre Avarias), e o MTTR o *Mean Time To Repair* (Tempo Médio De Reparação).

Considere-se o funcionamento num determinado período de tempo $t-t_0$ de um equipamento ou componente não sujeito a acções de manutenção preventiva, e durante o qual ocorrem avarias no final dos tempos t_1 e t_3 , cuja reparação, através de acções de manutenção correctiva Mtc_1 e Mtc_2 , demorou respectivamente os intervalos de tempo t_2-t_1 e t_4-t_3 , como se representa na figura 4.

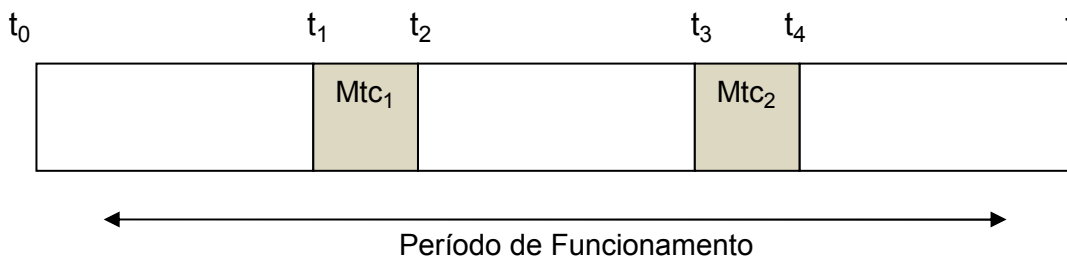


Figura 4: Tempos de funcionamento e de manutenção preventiva.

Neste exemplo prático analítico, os valores dos parâmetros que intervêm na Disponibilidade Intrínseca são então dados pelas seguintes expressões, não se considerando acções de manutenção preventiva:

$$MTBF = \frac{(t_1 - t_0) + (t_3 - t_2) + (t - t_4)}{3}$$

$$MTTR = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)}{2}$$

O valor da Disponibilidade Operacional é normalmente utilizado na prática, como indicador de uma unidade produtiva. Neste propósito convém referir que a fiabilidade de um equipamento é uma característica de fabrico que depende, essencialmente, dos critérios de qualidade que foram tidos em consideração durante o projecto e o fabrico desse mesmo equipamento.

Por outras palavras, poderá dizer-se que a fiabilidade se compra no momento da selecção e aquisição do mesmo, momento em que é possível escolher entre equipamentos idênticos, mas de qualidade e fiabilidade diversas. À manutenção compete, essencialmente, manter os equipamentos

em condições próximas às de um equipamento novo, com as suas qualidades e limitações, evitando a sua degradação e perda de fiabilidade. Neste contexto, para melhorar a fiabilidade de um equipamento, a manutenção deverá proceder à introdução de melhorias construtivas no equipamento, corrigindo deficiências que ele apresente face às situações de exploração a que é sujeito.

Conclui-se que para se melhorar o indicador de disponibilidade dos equipamentos, a manutenção deverá, sobretudo, fazer minorar os *Times To Repair* (TTR) de forma a minorar o MTTR. Acerca deste aspecto é preciso ter em consideração que os TTR podem ser minimizados, mas nunca eliminados, pois qualquer reparação requer sempre o seu tempo. Assim, importa analisar todos os componentes que contribuem para a construção do tempo de reparação e eliminar todos os tempos de espera originados por indisponibilidade dos técnicos, equipamentos, ferramentas, entre outros, bem como os tempos mortos por causas várias, como sejam as paragens de trabalhos, os tempos inerentes à burocracia como por exemplo os Registos de Controlo de Produção (RCP) e os registos da OEE (*Overall Equipment Efficiency*).

Esta perspectiva é limitada, pois só permite a intervenção da manutenção na componente de reparação dos equipamentos. No entanto, a manutenção poderá ter uma intervenção mais vasta e eficaz, se actuar de forma a garantir uma determinada fiabilidade mínima dos equipamentos adquiridos para a produção.

A Disponibilidade Operacional é, por sua vez, dada pela seguinte expressão [1,2,6,8]:

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

sendo MTBM representa o *Mean Time Between Maintenance* (Tempo Médio Entre Acções de Manutenção), e MDT o *Mean Maintenance Down Time* (Tempo Médio das Acções de Manutenção). Considere-se como no caso

anterior, o funcionamento num determinado período de tempo $t-t_0$ de um equipamento ou componente sujeito a acções de manutenção preventiva Mt_p e correctiva Mt_c , que se realizam a partir dos tempos t_3 , t_1 e t_5 , representadas graficamente na figura 5.

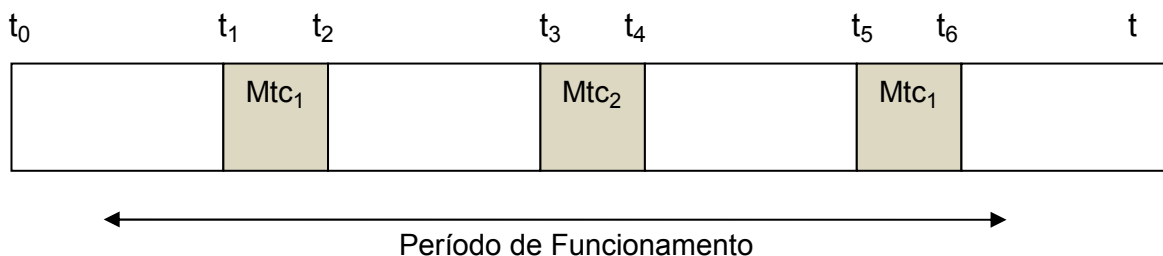


Figura 5: Tempos de funcionamento e de manutenção.

Neste contexto analítico, os indicadores MTBM e MDT são calculados, respectivamente, através das seguintes expressões:

$$MTBM = \frac{(t_1 - t_0) + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4) + (t - t_6)}{4}$$

$$MDT = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3) + (t_6 - t_5)}{3}$$

A partir de um conjunto de valores, respeitantes a um dado período de tempo, que permitam estabelecer uma dada distribuição de valores Mt_p e Mt_c , podem-se calcular os tempos médios ou medianos da manutenção correctiva e preventiva, e, conseqüentemente, o valor do MDT com uma dada probabilidade de não ser ultrapassado. O mesmo processo de cálculo é aplicado ao MTBM, podendo-se determinar assim o valor da Disponibilidade Operacional. Na expressão da Disponibilidade Operacional, é nítida a relação com a fiabilidade e com a manutenibilidade do equipamento. De facto, o valor de MTBM está relacionado com a Fiabilidade e o valor de MDT com a manutenibilidade.

No contexto vivido actualmente, o sucesso ou o fracasso das empresas está dependente de algumas premissas, como a continuidade da produção, a continuidade da qualidade dos produtos produzidos e os serviços prestados,

preços competitivos, volume de produção, segurança operacional e segurança ambiental. Para que todos estes aspectos sejam concretizados, torna-se necessário utilizar equipamentos ou materiais cada vez mais seguros e fiáveis.

A fiabilidade é a característica da confiança, uma noção de qualidade associada a uma escala temporal, e é através da fiabilidade que se toma conhecimento da duração temporal das características de qualidade de determinado equipamento.

A fiabilidade pode ser definida como a capacidade de um determinado sistema ou equipamento desempenhar a sua função em condições específicas por um determinado período de tempo.

Em termos matemáticos, a probabilidade de sobrevivência, $R(t)$, está directamente relacionada com a probabilidade de falha ou avaria, $F(t)$, pois à medida que a probabilidade de sobrevivência ou função de fiabilidade vai aumentando, por sua vez a probabilidade de falha vai diminuindo, como indica a seguinte expressão matemática [6,8].

$$R(t)=1-F(t)$$

Assim sendo, e analisando a expressão anterior verifica-se que a variável tempo desempenha um papel importante, visto que, com o aumento deste, $R(t)$ vai diminuindo até atingir o mínimo, e $F(t)$ vai aumentando até atingir o seu máximo, sendo este máximo correspondente ao estado de total degradação do equipamento Na variação temporal, considerando um determinado instante t em que N_0 componentes funcionam de igual forma, tendo-se $N_R(t)$ componentes em bom estado e $N_F(t)$ componentes em más condições ou com avarias, então a probabilidade de sobrevivência e de falha são dadas da seguinte forma:

$$R(t)=\frac{N_R(t)}{N_0}$$

$$F(t) = \frac{N_F(t)}{N_0}$$

Realizando a derivada da probabilidade de falha em ordem ao tempo t através da expressão anterior, virá:

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N_0} \frac{dN_F(t)}{dt} = f(t)$$

representado $f(t)$ uma função de probabilidade instantânea, designada na teoria das probabilidades por função densidade de probabilidade. Neste caso concreto, $f(t)$ será então a função densidade de probabilidade de falha ou mortalidade, traduzindo a percentagem de componentes que estão a avariar na unidade de tempo, em relação ao número de componentes N_0 , no instante t ou no intervalo de tempo dt . Manipulando a função densidade de probabilidade de falha, tem-se:

$$dF(t) = f(t)dt$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

em que a probabilidade de falha ou de avaria $F(t)$ representa a função acumulada de avarias, desde o instante $t=0$, em que se inicia o funcionamento dos N_0 componentes, até ao instante t .

Por outro lado, a função de fiabilidade $R(t)$, ou probabilidade de falha de um determinado componente, de N_0 componentes, num determinado intervalo de tempo é:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt$$

Combinando-se as expressões matemáticas anteriores pode-se chegar às seguintes equações:

$$\frac{dN_F(t)}{dt} = N_0 f(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d(1 - \int_0^t f(t)dt)}{dt} = -f(t)$$

$$\frac{dN_F(t)}{dt} = -N_0 \frac{dR(t)}{dt}$$

Dividindo ambos os membros desta última expressão pelo número de componentes sobreviventes, isto é, que não falharam, no instante t , $N_R(t)$, obtém-se:

$$\frac{1}{N_R(t)} \frac{dN_F(t)}{dt} = -\frac{N_0}{N_R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t)$$

Esta função $\lambda(t)$, à semelhança de $f(t)$, é assim uma função densidade de probabilidade, e representa a taxa à qual os componentes estão a avariar por unidade de tempo, no instante t , em relação ao número de componentes sobreviventes $N_R(t)$, até esse instante t . Saliente-se que $\lambda(t)$ é igualmente uma probabilidade condicional, isto é, encontra-se condicionada ao número de componentes sobreviventes $N_R(t)$.

Combinando as expressões anteriores, virá de forma ainda mais simplificada:

$$\lambda(t) = -\frac{N_0}{N_R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)} [-f(t)] = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Desta última expressão, pode então escrever-se:

$$R(t) = \frac{f(t)}{\lambda(t)}$$

Por outro lado, considerando:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt$$

ao derivar-se em ordem a t, a expressão virá:

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t)$$

Consequentemente, ao combinar-se as expressões anteriores, obtém-se a seguinte equação diferencial:

$$R(t) = -\frac{1}{\lambda(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

Resolvendo esta equação diferencial em ordem a R(t), obtém-se assim a denominada função geral de fiabilidade, que mais não é que a probabilidade de sobrevivência, isto é, de não ocorrerem falhas:

$$R(t) = e^{\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right)}$$

Durante a vida útil de um componente, a função $\lambda(t)$, designada por taxa de falhas ou taxa de avarias, é constante, podendo assim simplificar-se a expressão anterior para a seguinte forma:

$$R(t) = e^{(-\lambda t)}$$

Sendo assim, a função densidade de probabilidade de falha ou mortalidade, virá da seguinte forma:

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t) \cdot R(t) = \lambda e^{(-\lambda t)}$$

Estas duas últimas expressões simplificam consideravelmente o cálculo da fiabilidade de equipamentos durante o seu período de vida útil. Na análise do comportamento de um determinado equipamento ou componente no que diz respeito a avarias é necessário considerar o MTBF, como um parâmetro de

avaliação de falhas. Durante um intervalo de tempo o MTBF é dado pelo inverso da taxa de avarias, λ :

$$\text{MTBF}=\lambda^{-1}$$

sendo:

$$\lambda=\text{número de avarias/tempo de funcionamento total}$$

Como é sabido, a taxa de avarias não é constante com o tempo de funcionamento de um determinado equipamento, sendo esta variação dada pela curva da figura 6, mais conhecida por “curva da banheira”.

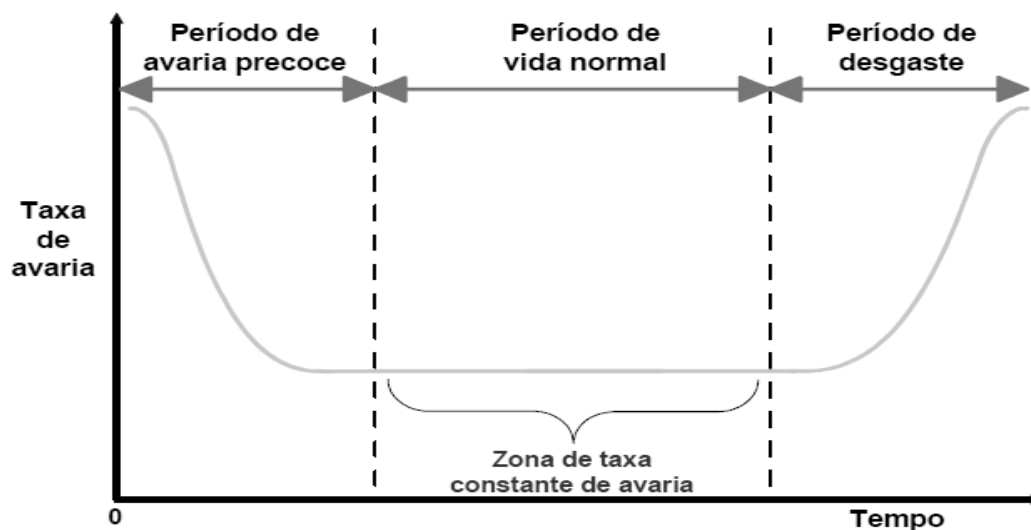


Figura 6: Evolução da taxa de avarias em função do tempo.

Segundo a “curva da banheira”, verifica-se que numa fase inicial, no período de avaria precoce, em que a taxa vai diminuindo ao longo do tempo, e onde as falhas se devem a deficiências de fabrico, a defeitos de montagem, e a erros cometidos por inexperiência de operadores. Após a fase inicial da vida de um equipamento dá-se um período de vida normal em que a taxa de avarias é relativamente mais baixa e constante. Este período é o mais significativo de todos e com maior duração. A zona de fim de vida útil dos equipamentos que conseguiram ultrapassar as outras fases, coincide com um período de desgaste em que a taxa de avarias aumenta consideravelmente, devido ao envelhecimento e desgaste dos materiais [1,2,6,8].

A manutenibilidade de um sistema é a característica que deriva do seu projecto e instalação, e é definida como a facilidade, a eficiência, a segurança e o custo com que as acções de manutenção são executadas para restaurar a condição inicial de bom funcionamento de um sistema. Tradicionalmente, a manutenibilidade preocupa-se em manter o equipamento operacional, combatendo o efeito das causas de avaria dos componentes e sistemas na fase inicial do equipamento.

Do ponto de vista matemático, a manutenibilidade é dada pela probabilidade de recuperar um sistema. Considerado $RE(t)$ a probabilidade de reparação de um componente, e $NR(t)$ a probabilidade de não reparação, estas estarão inversamente relacionadas pois com o aumento de uma a outra automaticamente diminui como se verifica na expressão seguinte [6,8]:

$$RE(t)+NR(t)=1$$

Na variação temporal, considerando um instante t , existindo $N_{RE}(t)$ componentes reparados e $N_{NR}(t)$ componentes não reparados, então as probabilidades de reparação e de não reparação são dadas pelas seguintes expressões:

$$RE(t)=\frac{N_{RE}(t)}{N_0}$$

$$NR(t)=\frac{N_{NR}(t)}{N_0}$$

Derivando a expressão $RE(t)$, em relação ao tempo t , virá:

$$\frac{dRE(t)}{dt}=\frac{1}{N_0}\frac{dN_{RE}(t)}{dt}=f(t)$$

representando $f(t)$ uma função de probabilidade instantânea, designada na teoria das probabilidades por função densidade de probabilidade de reparação. Neste caso concreto, $f(t)$ será a função densidade de probabilidade de

reparação, traduzindo a percentagem de componentes que são reparadas na unidade de tempo, em relação ao número total de componentes falhados (ou avariados) N_0 , no instante t ou no intervalo dt .

Manipulando as expressões anteriores obtém-se:

$$dRE(t)=f(t)dt$$

$$RE(t)=\int_0^t f(t)dt$$

em que $RE(t)$ representa a função de probabilidade acumulada de reparações, desde o instante inicial em que se inicia a reparação dos N_0 componentes falhados ou avariados, até ao instante t .

Por outro lado, a função de não reparação, atendendo às expressões anteriores terá a seguinte forma:

$$NR(t)=1-RE(t)=1-\int_0^t f(t)dt$$

Combinando as expressões anteriores obtém-se:

$$\frac{dN_{RE}(t)}{dt}=N_0f(t)$$

$$\frac{dNR(t)}{dt}=\frac{d\left[1-\int_0^t f(t)dt\right]}{dt}=-f(t)$$

$$\frac{dN_{RE}(t)}{dt}=-N_0\frac{dNR(t)}{dt}$$

Dividindo ambos os membros das equações anteriores pelo número de componentes não reparados no instante t , $N_{NR}(t)$, obtém-se:

$$\frac{1}{N_{NR}(t)} \frac{dN_{RE}(t)}{dt} = -\frac{N_0}{N_{NR}(t)} \frac{dNR(t)}{dt} = \mu(t)$$

Esta função $\mu(t)$, à semelhança de $f(t)$, é igualmente uma função densidade de probabilidade, e representa a taxa à qual os componentes estão a ser reparados por unidade de tempo, no instante t , em relação ao número de componentes não reparados $N_{NR}(t)$ até esse instante t . Salienta-se que $\mu(t)$ é uma probabilidade condicional, isto é, encontra-se condicionada ao número de órgãos não reparados $N_{NR}(t)$. Combinando as expressões anteriores obtém-se, de uma forma mais simplificada:

$$\mu(t) = -\frac{N_0}{N_{NR}(t)} \frac{dNR(t)}{dt} = \frac{1}{NR(t)} \frac{dNR(t)}{dt} = -\frac{1}{NR(t)} [-f(t)] = \frac{f(t)}{NR(t)}$$

Por conseguinte, pode então escrever-se:

$$NR(t) = \frac{f(t)}{\mu(t)}$$

Por outro lado, considerando:

$$NR(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

ao derivar-se em ordem ao tempo t , vem:

$$\frac{dNR(t)}{dt} = -f(t)$$

Considerando as equações anteriores, após a sua combinação, obtém-se a seguinte equação diferencial:

$$NR(t) = -\frac{1}{\mu(t)} \frac{dNR(t)}{dt}$$

Resolvendo esta equação diferencial em ordem a $NR(t)$, obtém-se assim a denominada função geral de não reparação, que mais não é que a probabilidade de não reparação.

$$NR(t) = e^{-\int_0^t \mu(t) dt}$$

Durante a vida útil de um componente, a função $\mu(t)$, designada por taxa de reparações ou taxa de intervenções de manutenção, é constante, podendo assim simplificar-se a expressão anterior para a seguinte forma

$$NR(t) = e^{-\mu t}$$

Por conseguinte, a função geral de reparação, isto é, a probabilidade de reparação, será:

$$RE(t) = 1 - NR(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Na tentativa de recuperar um sistema, existe a necessidade de repor as condições normais de operação, até um certo limite de tempo TTR (*Time to Repair*). O $MTTR$ (*Mean Time to Repair*) é determinado através do quociente entre o tempo das operações e o número de avarias:

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

ou

$$MTTR = \frac{\sum f_i TTR_i}{\sum f_i}$$

onde f_i representa a frequência das operações de manutenção e TTR_i representa a duração das operações de manutenção, podendo a manutenibilidade M definir-se como a probabilidade de uma operação de manutenção durar um certo limite de tempo:

$$M = 1 - e^{-\mu TTR}$$

em que μ representa o número médio de operações de manutenção por unidade de tempo, isto é, a taxa de reparações.

Por conseguinte, a manutenibilidade é um dos indicadores a ter em atenção na fase de concepção de um equipamento ou de um sistema, com a finalidade de se conseguir a sua eficácia, isto é, a sua aptidão para desempenhar uma determinada missão, para a qual foi desenvolvido e construído.

A manutenibilidade é essencialmente um indicador associado à concepção e fabricação. Durante a análise da manutenibilidade, deve ter-se sempre em linha de conta tudo o que possa ser susceptível de influenciar a aptidão do equipamento para ser receptivo a acções de manutenção. A manutenibilidade representa, assim, a capacidade de um determinado equipamento poder ser mantido em boas condições operacionais, enquanto a manutenção constitui um conjunto de actividades empreendidas com a finalidade de repor o equipamento avariado novamente em condições operacionais. Assim sendo, a manutenibilidade é um indicador do projecto, enquanto a manutenção será o resultado desse projecto, na medida em que o número de intervenções de manutenção será o resultado desse projecto, na medida em que o número de intervenções de manutenção dependerá da qualidade do projecto e da construção.

Atendendo ao tipo de metodologias de manutenção adoptadas, além do MTBF, MTBM, MTTR e MDT, optou-se por considerar os seguintes indicadores, técnicos e financeiros, de desempenho da Função Manutenção [1,2,3,4,5].

- **Eficiência Global dos Equipamentos**

Este indicador é uma função directa de três parâmetros de aferição, sendo calculado através da seguinte expressão:

$$OEE=D_0.R_0.T_q$$

sendo D_0 a Disponibilidade Operacional, R_0 o Rendimento Operacional, e T_q a Taxa de Qualidade dos Produtos.

- **Disponibilidade Operacional**

É definida através da seguinte expressão normalizada, como se expôs anteriormente, tendo MTBM e MDT sido igualmente definidos:

$$D_0 = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

- **Rendimento Operacional**

$$R_0 = TVO * TOL$$

sendo TVO a Taxa da Velocidade Operacional, e TOL a Taxa de Operação Líquida, dadas respectivamente por:

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

$$TOL = \frac{\text{Unidades produzidas} * \text{Tempo de ciclo real}}{\text{Tempo de carga} - \text{Tempo de paragens}}$$

- **Taxa de Qualidade dos Produtos**

Este parâmetro depende das perdas de produção associadas directamente aos produtos fabricados com defeito, isto é, não obedecendo aos padrões previamente estipulados. É contabilizada através da seguinte expressão:

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

sendo PSD o número de produtos bem fabricados, isto é, sem defeitos, e PTF o número de produtos fabricados.

- **Índice de Trabalho Extraordinário**

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

- **Índice Técnico de Actividade**

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

- **Índice do Volume de Produção**

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

- **Índice de Qualidade do Serviço**

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

- **Índice de Efectivos de Pessoal**

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

- **Índice de Trabalho Subcontrato**

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

5.PRODUÇÃO MAGRA

A Produção Magra ou também conhecida na literatura inglesa por *Lean Production* ou *Lean Manufacturing* surgiu no Japão pela mão da empresa Toyota. Foi em 1930 que Toyoda Kiichiro, criou uma oficina para desenvolvimento de pequenos motores de nome *Toyota Motor Corporation*.

Nos anos seguintes, foram lançados os primeiros protótipos com bastante sucesso, contudo, com o final da Segunda Guerra Mundial, Kiichiro lançou alguns desafios entre os quais aumentar a produtividade do trabalhador japonês e tentar alcançar a capacidade produtiva da América, marcando assim o início do Sistema de Produção da Toyota (TPS).

Foi nesta altura do pós-guerra que se deu a passagem de testemunho por parte de Kiichiro para o seu filho Eiji que tinha como objectivo dar continuidade às ideias de seu pai, para tal, contratou Taiichi Ohno que tinha o desafio de reestruturar e de desenvolver um sistema de produção mais eficiente. Eiji e Taiichi iniciaram a árdua tarefa de aumentar a produtividade, para tal, procuravam em cada operário as operações de desperdício de forma a transformar essas operações em algo de valor acrescentado.

Focalizaram-se essencialmente em reduzir desperdícios de forma a reduzir ao máximo, o capital, recursos e equipamentos, colocando em acção os princípios do *Just-In-Time* (JIT) a funcionar sistematicamente. Esta meta não foi de fácil alcance, demorando vários anos para a total implementação, e neste intervalo de tempo foi também implementado em todas as máquinas o sistema *Jidoka*. Contudo os resultados apresentados foram extremamente positivos para a produtividade, velocidade e qualidade de resposta às necessidades do mercado.

Em 1956, Taiichi Ohno, em uma das suas muitas visitas aos EUA, ficou impressionado com um sistema existente nos supermercados, pois, sempre que um produto era retirado da prateleira e passava na registadora era dada a sua “baixa”, através do envio de uma informação para o armazém para repor esse mesmo produto na prateleira. A partir desta observação, Ohno idealizou uma conexão entre o sistema usado no supermercado e o sistema JIT, surgindo assim o que actualmente se denomina por sistema *Kanban*, que levou cerca de dez anos para a sua total implementação na *Toyota Motor Company*. Aproveitando assim a ideia do supermercado, Ohno colocou o mesmo conceito nas linhas de produção: idealizou que cada linha seria a fornecedora da linha a jusante e cliente da linha de montagem. Para colocar estas ideias em prática,

foi necessário trabalhar em conjunto com os operadores, sendo talvez a componente mais difícil de superar, a alteração de mentalidades. Ohno tomou a iniciativa e foi ele mesmo convencer os operadores a usarem o seu sistema, sempre com o apoio de Eiji. Com a introdução do *Kanban* no sistema produtivo deu-se o desenvolvimento do JIT, considerando-se assim que estas duas ferramentas estão interligadas. Esta junção conduziu ao aumento significativo da produtividade, bem como a uma utilização mais eficiente dos recursos ao longo dos anos.

Os primeiros resultados da implementação destas ideias surgiram com a crise do petróleo em 1973, em que a *Toyota Motor Company* foi de todos os fabricantes automóveis o que melhor superou este obstáculo, sendo desde logo atribuído grande protagonismo ao seu modelo produtivo. A Produção Magra, apresenta como objectivos fundamentais a eliminação de desperdícios, através de uma cultura de aperfeiçoamento constante e de melhoria contínua, com vista a atingirem-se as metas de “zero defeitos” nos produtos confeccionados e de “zero stocks” dos mesmos produtos, com a finalidade de só existirem actividades com valor acrescentado. Entenda-se como desperdícios os equipamentos, materiais, componentes, espaços e tempo, em excesso relativamente às quantidades mínimas necessárias para gerar valor acrescentado. Por conseguinte, o grande objectivo consiste na eliminação das sete grandes perdas associadas aos processos produtivos, e que são as seguintes [12,13]:

1. **produção em excesso**, que é desnecessária quando ultrapassa o volume de encomendas a satisfazer;
2. **tempos de espera**, entre as várias células de produção;
3. **transporte desnecessário** de produtos fabricados e de matérias-primas e ferramentas, entre os vários locais de fabricação;
4. **processamento defeituoso**, que origina a fabricação de produtos com falhas, contribuindo para um reprocessamento e para a quebra de confiança dos clientes;
5. **existência de stocks em excesso**, no que respeita tanto aos produtos fabricados como aos materiais de manutenção, obrigando a perdas de

- tempo no armazenamento e no processamento administrativo e logístico, e à existência de armazéns sobredimensionados face às necessidades;
6. **movimentações desnecessárias** por parte dos recursos humanos, dentro da sua célula de trabalho, por exemplo para substituição de ferramentas;
 7. **fabricação de produtos sem qualidade**, na maioria das situações devida à fraca formação dos operadores dos equipamentos, e à ausência de especificações técnicas.

Precisamente, Suzuki em 2004, investigou a razão pela qual é difícil de entender o Sistema de Produção Japonês (JPS), que tem algumas diferenças do Sistema de Produção da Toyota (TPS). Apesar de muitas empresas no Japão e em outras partes do mundo terem tentado aplicar os princípios da Produção Magra, são muito poucas as que conseguiram os resultados da Toyota. O próprio êxito da Toyota, ao exportar o seu sistema a outras partes do resto do mundo enfatiza a necessidade de descobrir o seu segredo.

A diferença entre os resultados da Toyota e outras empresas com sistemas similares é o firme objectivo da Toyota de eliminar quaisquer fontes de desperdício dentro da empresa. As distintas técnicas que compreendem o JPS podem-se agrupar em dois modelos: JIT e JWO (*Japanese Work Organization*). O JWO consiste em formar e estabelecer uma forma de organizar o trabalho orientando a exaustiva aplicação prática das habilidades dos trabalhadores, isto é, a plena utilização das capacidades da mão-de-obra. O JWO completa-se com outras práticas organizacionais, tais como a formação de trabalhadores para que possam realizar varias tarefas, a dotação de flexibilidade no trabalho, a dotação de responsabilidade aos trabalhadores para comprovar parâmetros de qualidade e para efectuar manutenção básica. No quadro seguinte estabelece-se um termo de comparação, entre as técnicas que definem o JPS, que em certa parte se enquadra no TPS [12].

Para Suzuki, o JIT junto com JWO e *Jidoka* (que consiste em dotar a máquina com dispositivos ou recursos que ao detectar qualquer anomalia faz a

máquina parar evitando desta forma a produção de baixa qualidade, em actividades manuais é o operador quem pára a actividade quando descobre qualquer anomalia), constituem os elementos essenciais do sistema TPS.

Princípios <i>Just-In-Time</i>	Princípios <i>Japanese Organization Work</i>
Redução do stock em curso	Trabalhadores multidisciplinares
Fluxo contínuo, produção sem limites	Qualidade controlada pelos trabalhadores dentro do processo de fabricação
Redução dos tempos de entrega	Manutenção directa realizada pelos trabalhadores (prevenção e avarias básicas)
Redução dos tempos de pedido, planificação, produção e entrega	Melhorias em qualidade, equipas e distribuição

Quadro 2: Enquadramento dos Princípios da Produção Magra.

A Produção Magra é derivada do Sistema de Produção Toyota, e baseia-se nas seguintes metodologias [5,12]:

- ***Kaizen***

A melhoria contínua é outro princípio fundamental da Produção Magra. A ferramenta ficou mundialmente conhecida pela implementação no Sistema de Produção da Toyota. *Kaizen*, é uma palavra japonesa que significa a procura da melhoria contínua, na qual, o *Kai* significa mudança, e *Zen* significa para melhor. A filosofia *Kaizen* consiste assim numa busca incessante da melhoria de processos produtivos e administrativos. Na melhoria contínua, o mais importante é o momento da melhoria mesmo que esta seja mínima. Alguma coisa pode ser melhorada a cada momento, o importante é que alguma melhoria tenha ocorrido para aperfeiçoar ainda mais os processos e influenciado a diminuição dos custos. Para ter a capacidade de melhorar continuamente é necessário tomar determinados comportamentos e acções, visto que, esta capacidade não surge naturalmente, ou seja, é necessário ter uma filosofia voltada para a melhoria contínua, utilizando para tal a experiência acumulada dentro da operação.

Os principais fundamentos para o processo de melhoria contínua são [5,12]:

- ✓ **Optimização dos recursos existentes:** há uma grande tendência em adquirir novos recursos, sem que por vezes não se analise a utilidade dos recursos existentes;
- ✓ **Rapidez na implementação de soluções para problemas identificados:** a tendência habitual é fixar altos prazos para a execução, buscando sempre a melhor solução para qualquer problema, e criar procedimentos excessivamente demorados para análise e autorizações. Por vezes torna-se necessário dividir um grande problema em vários problemas de menor dimensão, os quais terão soluções mais simples, com uma implementação mais rápida;
- ✓ **Critérios de baixo ou custo nulo:** uma forma incorrecta de melhorar um processo seria fazê-lo unicamente por meio de investimentos, sem levar em conta a importância do processo de melhoria contínua. Uma distribuição equilibrada de aplicação das estratégias de melhoria, em condições gerais, deveria dar mais prioridade à melhoria contínua do que à inovação;
- ✓ **Participação activa dos funcionários em todas as etapas:** é fundamental a participação dos funcionários em todas as etapas ou fases da melhoria, como o planeamento, análise, execução e confirmação. Essa participação do funcionário é baseada no princípio de que ele é o maior conhecedor dos problemas do seu raio de acção, sendo assim adquirida uma preparação e uma melhoria do conhecimento, bem como uma maior integração e participação para alcançar os objectivos da empresa.

Normalmente, quando é aplicada a inovação esta provoca mudanças nos mecanismos de produção. Mas também existem alterações que não provocam obrigatoriamente mudanças nestes mecanismos e que também podem ser consideradas inovação. Em síntese, o recurso a esta metodologia procura reduzir ao máximo grandes inovações, com custos elevados, procurando associar à inovação pequenas melhorias, continuamente.

- ***Kanban***

Esta palavra de origem japonesa significa um simulador visual tal como uma etiqueta ou cartão. Segundo o seu criador Taiichi Ohno, foi através da análise do sistema de funcionamento dos supermercados americanos que

surgiu e se desenvolveu o sistema *Kanban*. Segundo essa análise o processo final (cliente) vai até ao processo inicial (supermercado) para adquirir as peças necessárias (produtos) no momento e na quantidade necessária. No contexto do sistema de produção, o *Kanban* representa um cartão contendo um código alfanumérico que identifica o item, a descrição do item, a quantidade movimentada do item ou a quantidade a ser produzida num posto de trabalho, podendo possuir ou não um código de barras que faz a interface com o sistema de informação. Dessa forma o *Kanban* organiza a sequência de produção de acordo com os princípios do *Just-In-Time*, produzindo os materiais necessários, na quantidade necessária e no momento necessário. Na figura 7 exemplifica-se uma etiqueta *Kanban*. O *Kanban* é um sistema simples e de fácil compreensão. Este sistema, utiliza princípios de visibilidade para garantir a eficiência da técnica *pull* de “puxar” a produção. Constitui uma ferramenta administrativa cuja finalidade é direccionar um processo de produção, dinamizando a passagem de informações relacionadas com o que é produzido, quando, em que quantidade e como irá ser realizado o seu transporte. Assim, informações como a quantidade de matéria-prima, necessária num determinado pedido de produção, e o tempo exacto de aquisição são conhecidas antecipadamente, evitando perdas por desvalorização do produto em stock.

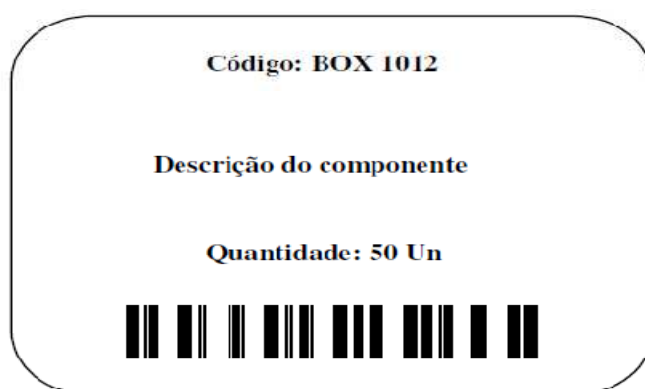


Figura 7: Exemplo de um *Kanban*.

Para uma implementação com sucesso do sistema *Kanban* torna-se necessário satisfazer as seguintes regras básicas [5,12]:

- ✓ O processo subsequente vem retirar do processo precedente as peças e materiais necessários nas quantidades necessárias. Esta é uma regra

básica do *Kanban*, que coloca em prática a noção de “puxar” a produção, ou seja, enquanto o fluxo de informações responsável pela definição de o quê, quando e quanto produzir ocorre na direcção do mercado para as matérias-primas, ao passo que o fluxo físico ocorre obviamente das matérias-primas para o mercado;

- ✓ O processo precedente produz itens na quantidade e na sequência indicada pelo *Kanban*. Esta regra é uma continuação da regra anterior, e considera-se que o próprio processo deve restringir o seu inventário a um mínimo absoluto. Para que esta regra possa ser colocada em prática é necessário que todos os intervenientes na produção estejam preparados, em todos os aspectos, para produzir as quantidades necessárias no momento necessário;
- ✓ Impedir a superprodução e os transportes excessivos. Nenhum item deve ser produzido ou transportado sem a presença de um *Kanban*, ou seja, é necessário que qualquer intervenção no sistema produtivo seja inspeccionada pelo sistema de informações operacionalizado pelo *Kanban*;
- ✓ O *Kanban* deve funcionar como uma ordem de fabricação afixada directamente nos itens (mercadorias), devendo incluir as informações necessárias para que seja feita a fabricação;
- ✓ Produtos com defeito não devem ser enviados ao processo seguinte. Esta é uma regra importante na medida em que os itens devem ser enviados aos processos seguintes, não só na quantidade exigida, mas também com a qualidade adequada;
- ✓ O número de *Kanban* deve ser continuamente reduzido para aumentar a sensibilidade aos problemas existentes, considerando que os stocks existentes acobertam diferentes tipos de problemas na produção. A ideia consiste em manter minimizado e reduzir o número de *Kanban* necessários para se estabelecer um processo de melhorias contínuas nos sistemas produtivos. Sempre que o número de *Kanban* é reduzido e, por consequência stocks são eliminados, problemas de diversas ordens tendem a ocorrer. A função de supervisão e da gerência consiste em procurar estabilizar os sistemas produtivos no novo patamar de stock adoptado. Para isso torna-se imprescindível atacar a raiz dos problemas,

o que implica actuar nos pontos dos sistemas produtivos onde eles ocorrem.

Uma união perfeita entre a produção *Just-In-Time* e *Kanban* pode originar bons resultados, porém, ainda se colocam diversas barreiras. Essa união possibilita a expansão para novos horizontes, num processo de evolução onde, além da redução de custos dá-se também o aumento dos lucros. Os processos operacionais e burocráticos são reduzidos dinamizando o trabalho sem prejudicar a qualidade dos produtos e serviços.

- ***Just-In-Time***

Segundo Taiichi Ohno em 1997, *Just-In-Time* significa que, num processo de fluxo as partes correctas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária. Em qualquer sistema de produção, o objectivo último é o de gerar lucro e o sistema JIT não foge à regra, sendo um sistema de produção orientado para o mercado, que tem por finalidade servir os requisitos dos clientes. Quando se aborda uma organização que trabalha em JIT, em grande parte das ocasiões associa-se este conceito única e exclusivamente ao *Kanban*, o que não é de toda a forma mais correcta de o analisar. Efectivamente, a visão JIT assenta na eliminação de desperdícios, devendo assim ter-se em linha de conta o seguinte:

- ✓ Executar acções que criem unicamente valor acrescentando;
- ✓ Todas as actividades executadas devem criar valor do ponto de vista do cliente;
- ✓ Todos os passos necessários na realização de um projecto deverão ter como objectivo um fluxo com o máximo de valor acrescentado;
- ✓ Produzir apenas o que é pedido pelo cliente;
- ✓ Eliminação contínua e eficiente dos desperdícios.

Um dogma do JIT consiste sempre em otimizar e integrar o sistema de manufactura (eliminando stock, inspecção, equipamento e mão-de-obra em excesso), a fim de que os problemas relacionados com a produção venham ao de cima. A técnica é usada para superar os problemas relacionados com a produção na linha e para reduzir os custos indirectos até que o sistema de produção (qualidade, índices e custos) tenha sido equilibrado em termos de níveis de qualidade e produção. O processo produtivo está equilibrado quando

a última remoção de excessos resultar em perda da qualidade de produção. O resultado desse equilíbrio será uma produção mais suave e livre de problemas. É somente através de um processo de melhoria contínua que o sistema de manufactura pode atingir o seu nível óptimo de produtividade e alcançar o seu pleno potencial de lucros. A filosofia JIT baseia-se em grande parte na eliminação contínua e eficiente dos desperdícios, como se verifica na figura 8 onde são considerados os sete tipos de desperdícios no processo de produção [5,12].

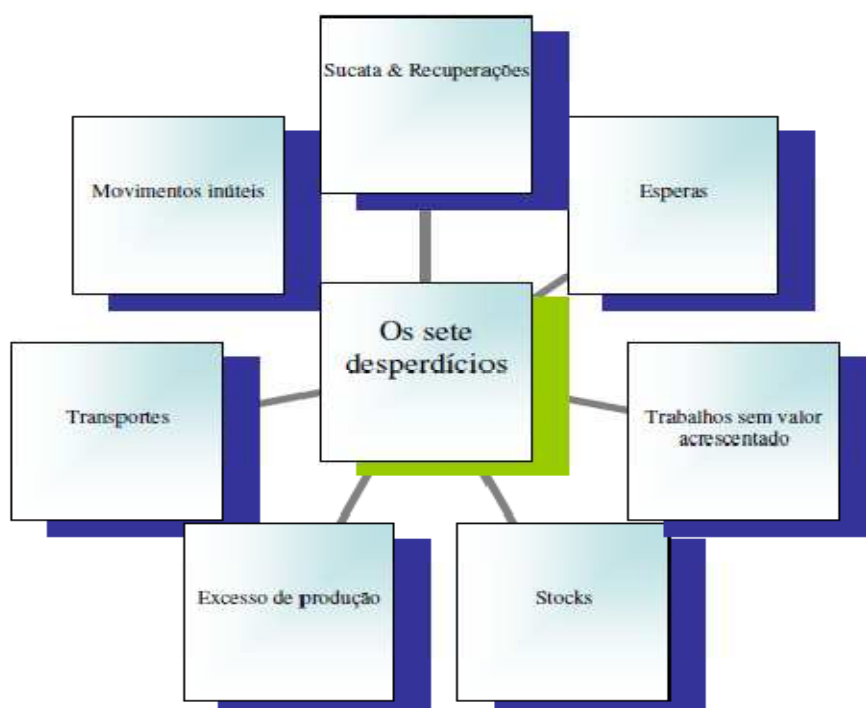


Figura 8: Os sete desperdícios.

As bases que fundamentam esta metodologia são as seguintes:

- **Procura de valor acrescentado desde os fluxos de produção até aos fluxos de informação.**

Deve-se proceder à optimização do *Lead Time*, isto é, deve-se reduzir o mais possível o tempo que vai desde a realização do pedido por parte do cliente até à sua liquidação. Como consequência desta medida procura-se realizar mais com cada vez menos, reduzindo obrigatoriamente os desperdícios, tentando sempre aproximar-se daquilo que os clientes pretendem, de forma a satisfazer o seu pedido (figura 9).

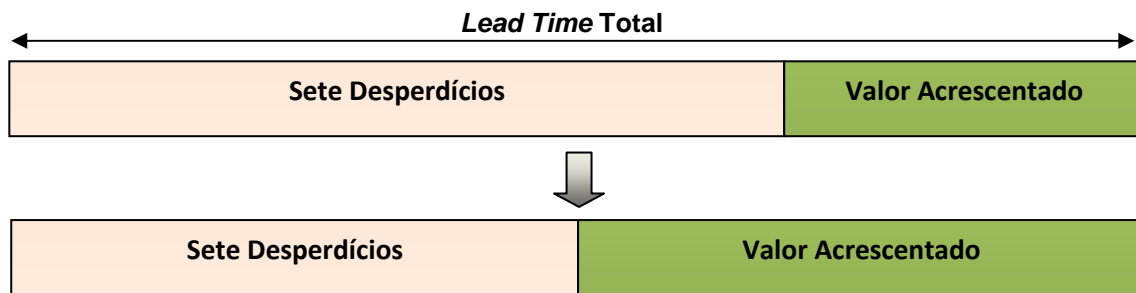


Figura 9: Focalização do Valor Acrescentado.

- **Forte liderança com uma visão empreendedora.**

A liderança deve ser feita de uma forma a que o produto satisfaça o cliente, deve conhecer os desejos do cliente. A liderança tem de ter uma visão global tanto da produção como do mercado de forma a actuar em conformidade para que haja procura no mercado sendo esta, um dos aspectos fundamentais para o sucesso do produto. Deve gerar rentabilidade, saber gerir situações menos favoráveis e sempre que necessário oferecer suporte técnico.

- **Cadência e fluxo contínuo e puxado.**

No desenrolar de um processo, a informação deve estar sempre disponível para todos os intervenientes (no momento exacto, no lugar correcto, com a quantidade certa). Deve existir um sistema de informação conhecido por *Kanban*, ou seja, as ordens de fabrico devem transitar em sentido inverso ao fluxo de produção, isto é, as ordens de fabrico são sempre emitidas pela fase do processo a jusante (de acordo com as suas necessidades), evitando assim o acumular da produção ou inventário em qualquer fase do processo, como se esquematiza nas figuras 10 e 11.

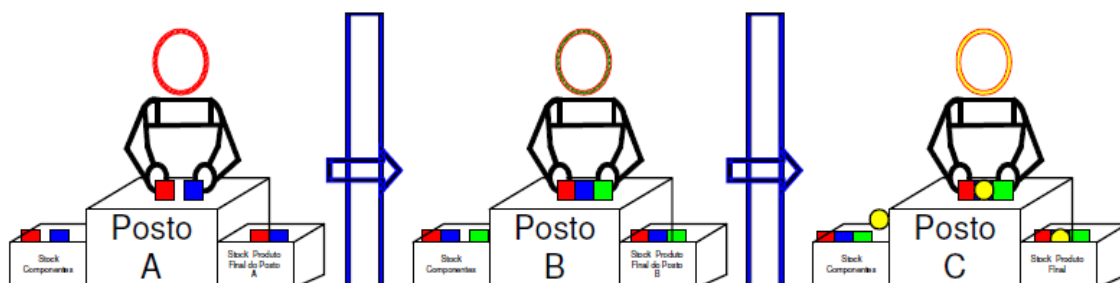


Figura 10: Método Tradicional: Operadores separados, stocks intermédios e falta de informação entre os colaboradores.

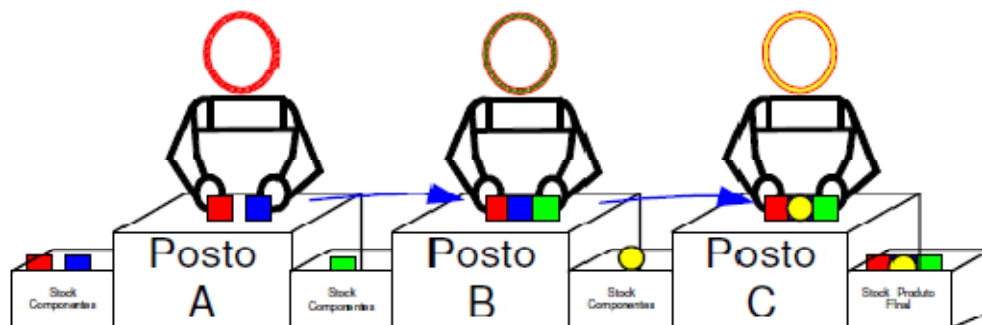


Figura 11: Método de Produção Magra: Operadores em linha, sem stocks intermédios.

- **Especialistas responsáveis.**

Durante o desenvolvimento de todo o processo de produção, o fluxo de informação deverá percorrer todas as pessoas envolvidas no projecto. Os especialistas são responsáveis por ultrapassar barreiras e por encontrarem um fluxo de produção, devendo também estar motivados de forma a obter-se deles um maior e melhor rendimento despertando assim uma qualidade de vida no trabalho, desenvolvimento pessoal, autonomia, igualdade, flexibilidade, disciplina e criatividade, factores esses indispensáveis para os funcionários.

- **Engenharia em simultâneo.**

O sistema de produção Toyota propõe que sempre que se inicie um novo projecto e/ou processo sejam incorporados o máximo de departamentos possível, com vista a proporcionar um levantamento adequado de todas as alternativas, de forma a evitar que um projecto e/ou produto seja lançado com deficiências. Desta forma, todos os intervenientes no processo ficam a conhecer as suas funções no futuro, quais os pontos bloqueados, as acções prioritárias e assim podem iniciar contactos com os fornecedores, para lhes transmitir quais os requisitos que terão de respeitar, e também com o cliente, para dar a conhecer o estado de desenvolvimento do projecto. No sistema JIT, a forma de trabalhar dos colaboradores vai-se alterando ao longo do tempo. Estes realizam trabalhos mais desafiantes, uma vez que é incutida mais responsabilidade às bases da organização. E, ao mesmo tempo, os colaboradores podem considerar mais presente no seu trabalho o stress. Neste

modelo a visão do trabalho humano caracteriza-se pelos seguintes aspectos [12]:

- Unidade de concepção e de realização no trabalho de produção;
- Descentralização na tomada de decisões;
- Hierarquias menos verticais;
- Colaboração directa entre os engenheiros e os restantes trabalhadores;
- Colaboração entre manutenção e produção (transferência de responsabilidades);
- Interação entre o departamento de projecto e desenvolvimento, com as unidades industriais.

Considera-se a existência de quatro indicadores para medir o grau de compromisso da organização e, conseqüentemente, dos colaboradores com este modelo. Nomeadamente, a liderança em qualidade, criação de grupos de melhoria, formação contínua e delegação de responsabilidade nos colaboradores. Por outro lado, através da análise do modelo JIT na indústria automóvel, encontrou-se uma relação entre a utilização deste modelo em países como os EUA e o Canadá, onde apenas 23% e 4%, respectivamente, dos colaboradores, se encontram integrados nas equipas de trabalho, enquanto no Japão e Europa os níveis de desenvolvimento alcançam os 70 a 80%. Estes dados revelam a atitude dos sindicatos nos EUA, que não permitem a difusão deste modelo na indústria. Neste sentido, é possível concluir que este modelo é realizável quando as estratégias empresariais, sindicais e governamentais se encontram alinhadas. Assim, verifica-se uma relação significativa entre o êxito de implementação do modelo JIT e a identificação dos colaboradores com a estratégia seguida.

- ***Jidoka***

Por volta Segunda Guerra Mundial, Taiichi Ohno começou a introduzir mudanças na linha de produção da Toyota. Ohno, com o objectivo de aumentar a eficiência na produção, em que tentou que um único trabalhador conseguisse operar em várias máquinas em simultâneo, deparou-se com um problema, pois as máquinas não paravam ao defeito. Desta forma um operador não poderia operar em mais do que uma máquina. Com o conceito *Jidoka*, termo japonês que no mundo da Produção Magra significa “automatização com um toque

humano”, colocou-se um ponto final a este problema. A automação é um estágio anterior à automação, visto que na automação a detecção de um problema é efectuada pela máquina, enquanto no primeiro caso a correcção e consequente solução é da responsabilidade do operador. O conceito *Jidoka* permite que o processo tenha o seu próprio autocontrolo de qualidade, como por exemplo, caso exista uma anomalia durante o processo produtivo, este irá parar automaticamente ou manualmente, impedindo assim que as peças defeituosas avancem no processo, contrariamente aos processos produtivos tradicionais, em que a inspecção de cada peça apenas se realiza no final do processo. Com esta filosofia procura-se melhorar a qualidade no processo em que só se produzem peças com “zero defeitos”. Contudo, o *Jidoka* não funciona apenas com a função de detectar uma anomalia e parar a linha. A ferramenta *Jidoka* tem outras funções, como corrigir a condição anormal e investigar a raiz do problema que levou à anomalia para eliminá-la para sempre. Para uma eficaz implementação desta metodologia é necessário considerar os seguintes passos [12]:

1. **Detecção da anomalia.**

As anomalias podem-se detectar em processos em que intervêm máquinas como nos processos em que intervêm pessoas. No primeiro caso, constroem-se mecanismos dentro das máquinas, os quais detectam anomalias e automaticamente param a máquina durante o tempo de ocorrência. Nos casos das pessoas, se for dada a autorização para intervir no processo, como por exemplo pressionar botões, que como consequência podem chegar a parar uma linha de produção.

2. **Interrupção do processo produtivo.**

O facto de um determinado processo ser interrompido, leva por vezes muitas pessoas a caírem no erro de pensar que sempre que este é interrompido, todas as estações de trabalho da produção entram em espera até que o problema seja resolvido. Na realidade, as linhas de produção podem dividir-se em secções e estas, por sua vez, em estações de trabalho, de forma que quando uma estação de trabalho avisa da existência de um problema, a linha continua a produzir, com um ciclo de tempo de forma a resolver o problema até que o troço da linha entre em espera.

3. **Correcção da condição anormal.**

Após a correcção da anomalia para voltar ao ritmo normal de produção utilizam-se distintas opções:

- ✓ Colocar a funcionar um processo excepcional, como seja implementar um *Kanban*;
- ✓ Colocar uma unidade de trabalho suplementar na estação;
- ✓ Interromper a produção até que a anomalia do processo seja totalmente corrigida.

4. **Investigação da causa principal do problema e instalação das soluções dos problemas.**

Para investigar e tentar descobrir o problema é necessário baixar ao nível do utilizador para descobrir a raiz do problema. Uma vez investigado passa-se a instalar uma solução permanente de forma a garantir que o problema não se torne a repetir.

A Toyota trabalhou ao longo dos anos para uma automatização total, contudo, este processo não é de fácil concretização, pois torna-se difícil separar o operador e deixar a máquina realizar as operações autonomamente. Esta separação torna-se ainda mais difícil na indústria dita tradicional, no entanto, com a evolução tecnológica são cada vez mais os dispositivos capazes de detectar anomalias, acentuando a separação entre o homem e a máquina. Esta separação é a base do *Jidoka* em que, na prática a separação ocorre entre a detecção de um problema e a solução do mesmo. A função de detecção permanece na responsabilidade da máquina, enquanto a solução fica da responsabilidade do operador. Desta forma, dá-se uma transferência das capacidades manuais e mentais do Homem para a máquina, permitindo que um operador consiga executar outras funções, operando em mais do que uma máquina simultaneamente. Desta forma, o *Jidoka* assegura a estabilidade do sistema de Produção Magra, permitindo um aumento da eficiência de produção, através do recurso a uma melhor separação entre as funções dos colaboradores e da máquina.

- **Produção “Puxada”.**

O método original de “puxar” a produção, mais conhecido na literatura inglesa por *Pull System*, surgiu nas observações de Ohno, no qual um processo final vai ao processo inicial requerer apenas o componente exigido na

quantidade necessária e no momento exacto. Nesta metodologia de produção o *Kanban* desempenha um papel fundamental pois torna-se necessário informar o processo inicial dos pré-requisitos a preencher por parte do cliente, o que leva a que esta metodologia e o sistema de informação estejam estreitamente relacionados. O mecanismo de produção *pull* caracteriza-se por puxar a produção em que cada estágio subsequente na linha de montagem solicita, de acordo com a taxa de produção, os componentes ou peças semi-acabadas de estágios precedentes. A demanda é ajustada a uma determinada taxa de produção conforme a configuração da linha de montagem. Esta demanda de produção representa uma determinada quantidade fixa de *Kanbans* no sistema e que periodicamente solicitam as peças das estações precedentes. Uma aplicação do *Pull System* caracteriza-se como sendo o último patamar para se trabalhar efectivamente em JIT, e assim consequentemente, segundo os princípios da Produção Magra, aplicando como tal alguns conceitos, como o caso do *Heijunka*. Deste modo, o *Heijunka* ou nivelamento da produção passa pela elaboração de um programa de produção nivelado, através da sequenciação dos pedidos do cliente numa ordem repetitiva, analisando as variabilidades dos pedidos, para que se produza sempre a mesma quantidade e tipo de produto. O nivelamento da produção permite obter uma combinação de diferentes itens, garantindo um fluxo contínuo, e nivelando também os recursos da produção. O nivelamento da produção deve ser efectuado em pequenos lotes de produção, permitindo a redução dos stocks, do *lead time* e o aumento da produtividade (figura 12). Assim, a solução passa por alcançar uma forma mais eficiente para que um só processo fabrique o que o processo seguinte necessita, sem que haja falta de produtos, diminuindo o *lead-time*, aumentando a qualidade e diminuindo os custos.

Para a implementação de um sistema de Produção Magra na sua totalidade com o devido sucesso, a organização terá de procurar ultrapassar diversas barreiras e dificuldades. As três principais barreiras que se colocam na implementação das ideologias da Produção Magra são as seguintes [12]:

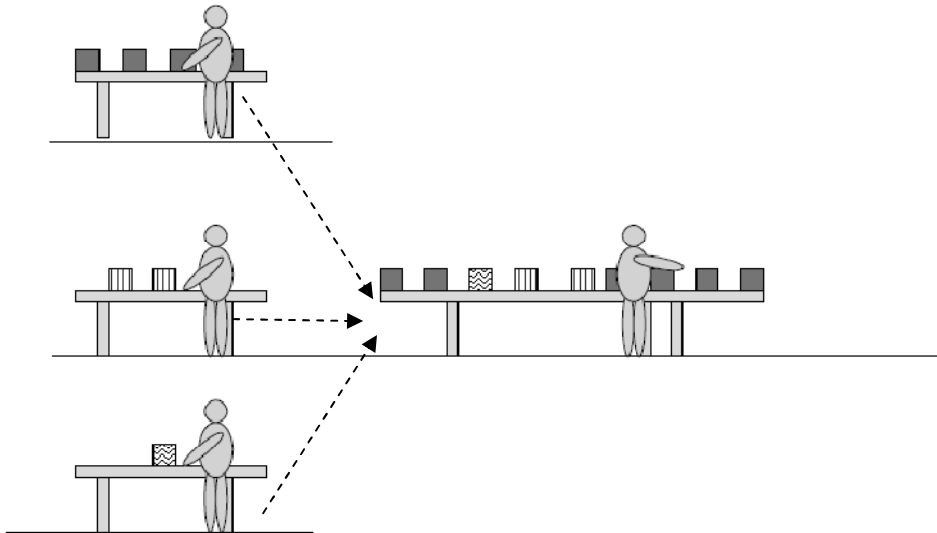


Figura 12: Exemplo de um nivelamento de produção.

1. O tempo de preparação de um sistema de Produção Magra requer acompanhamento e dispêndio de tempo. A organização que não esteja a pensar na direcção de um crescimento sustentado de longo prazo não terá a paciência necessária para a plena implementação do novo método de produção;
2. O processo de transformação de uma organização com um sistema de produção em massa para um sistema de Produção Magra requer muitas alterações físicas e processuais, muitas vezes acompanhadas por distúrbios na estrutura e nos processos da organização. A organização que não tenha a coragem necessária, ou ainda não tenha vivido uma crise, não sentirá uma grande vontade para, por si só, avançar e passar pelo desconfortável caos conhecido por mudança;
3. A transformação, de uma organização de produção em massa para a Produção Magra tem de ser desejada, decidida por cima e, mais importante, conduzida pelo líder da empresa. Se os gestores da organização não estiverem informados ou comprometidos com a *lean management*, a Produção Magra não terá grandes probabilidades de acontecer.

6.FILOSOFIA SEIS SIGMA

Com o final da Segunda Guerra Mundial, as políticas de desarmamento implantadas no Japão provocaram o surgimento de um novo modelo produtivo baseado no apropriação contínuo dos produtos e dos processos de produção, que mais tarde iria levar à criação do conceito Seis Sigma.

O Seis Sigma teve origem durante a segunda metade dos anos oitenta, quando diversas empresas norte-americanas procuravam equilibrar-se em termos de competitividade com as empresas japonesas. Após algumas visitas a empresas japonesas, a empresa Motorola reformulou os seus conceitos de qualidade concluindo que o simples atendimento das especificações não era satisfatório e sim a redução das variações, levando a que em 1987, se desse a implementação do que se passou a chamar de Seis Sigma [14,15,16].

Nos anos seguintes à sua implementação, o conceito Seis Sigma apresentava alguns resultados positivos, que despertaram o interesse de outras empresas, as quais também obtiveram resultados satisfatórios com a sua implementação. A partir de então, o conceito tem-se popularizado através de empresas de diversos países.

A sua ideia base consiste em 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. O conceito Seis Sigma tem a finalidade de reduzir a variabilidade, melhorando assim os processos. A variabilidade é tratada como se fosse uma falha intrínseca ao processo, e desta forma, através de projectos de melhoria contínua e sustentável, procura-se reduzi-la a níveis baixíssimos, visto que não existe processo sem variação.

Por conseguinte, é uma metodologia que se focaliza na eliminação de desperdícios e na redução de defeitos, para além da 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), e baseando-se em três ferramentas estatísticas: média, desvio padrão e distribuição normal, sendo a média μ e o desvio padrão σ determinados, respectivamente, através das seguintes expressões [14,15,16]:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

sendo N a dimensão da população e X_i o acontecimento. A variabilidade na saída dos processos pode ser observada pela tomada de informações de um determinado parâmetro, em relação a um valor especificado, considerando os limites de variabilidade permitidos ao processo. Desde os primórdios da produção em massa, uma forma de garantir os níveis desejados de qualidade era efectuada pela inspecção em grande escala na saída dos processos, e uma outra forma de garantir os níveis de qualidade é através da dedução estatística, recorrendo-se a amostras representativas de todos os produtos produzidos, sendo esta técnica evidenciada pela Produção Magra.

Através das amostras retiradas e da posterior análise é possível verificar o tipo de distribuição de frequência de dados. Por exemplo, para uma população de $N=1000$ parafusos, X_i poderá representar o comprimento do parafuso de ordem i .

O número de defeitos à saída de cada processo produtivo é tão reduzido quanto menor for a variabilidade dos factores nas suas etapas intermédias, ou seja, para garantir a qualidade dos produtos é necessário reduzir a variabilidade no final da produção.

A palavra sigma é o nome de uma letra do alfabeto grego, utilizada na estatística para identificar um parâmetro chamado desvio padrão. Para se poder compreender o conceito de desvio padrão e, conseqüentemente, o conceito Seis Sigma é necessário que se compreenda o conceito de distribuição de probabilidade.

6.1.Distribuição Normal

A distribuição de probabilidade é um modelo estatístico que descreve a hipótese que uma variável aleatória pode assumir ao longo de um espaço de valores. Chamam-se de variáveis aleatórias porque são variáveis que têm um único valor numérico, determinado por acaso, para cada resultado de uma experiência. Toda a vez que uma variável é influenciada pelo acaso, ela é dita aleatória. Uma distribuição pode ser discreta ou contínua. A cada valor de uma variável aleatória discreta pode ser atribuída uma probabilidade. Ao enumerar cada valor da variável aleatória com a sua probabilidade correspondente, forma-se uma distribuição de probabilidade. Dessa forma, uma distribuição discreta é o conjunto de todos os valores, numa escala discreta que podem ser assumidos pela variável aleatória, com as respectivas probabilidades, enquanto as distribuições contínuas são o conjunto de todos os valores, numa escala contínua, que podem ser assumidos pela variável aleatória (figuras 13 e 14).

Tanto as distribuições contínuas quanto as discretas são passíveis de classificações que as subdividem em categorias. Dentro das categorias existentes, uma que se destaca por ser um dos exemplos de uma distribuição de probabilidade contínua, é a distribuição normal ou também conhecida por distribuição de Gauss [14,15,16].

A distribuição normal é bastante importante, pelas seguintes razões:

1. É um modelo adequado para representar muitos dos fenómenos do mundo real, nomeadamente, características como a altura e o peso, e outras características que tenham a ver com medições. Daí se dizer que a distribuição normal ocorre com naturalidade;
2. É muito usada na inferência estatística;

3. Muitas técnicas desenvolvidas em estatística são exactas no caso de distribuições normais;
4. Algumas distribuições discretas (como por exemplo, a binomial e a de Poisson) podem ser aproximadas pela distribuição normal.

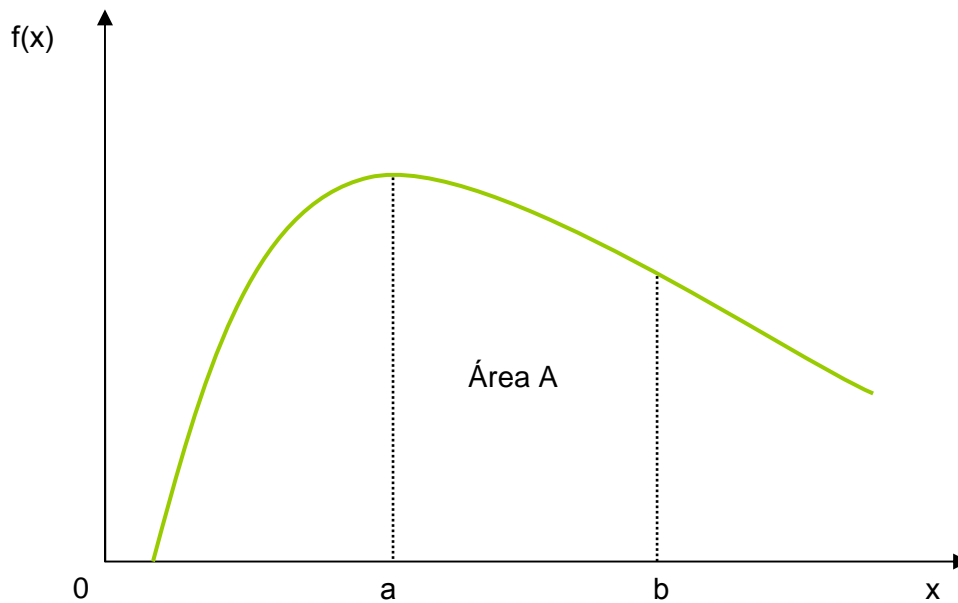


Figura 13: Função densidade de probabilidade, de uma distribuição contínua de probabilidades.

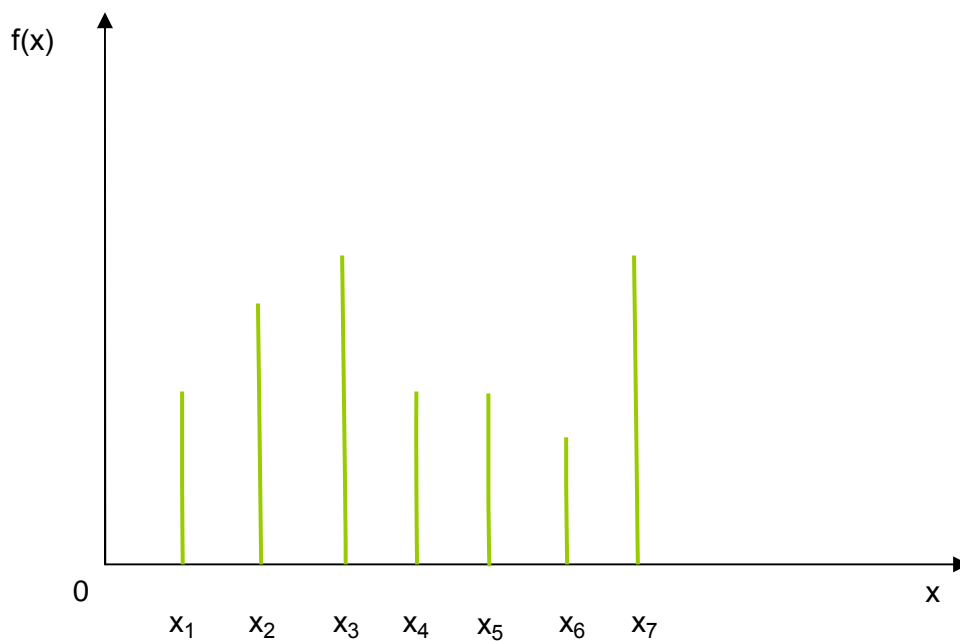


Figura 14: Função densidade de probabilidade, de uma distribuição discreta de probabilidades.

Como é sabido, uma variável aleatória contínua x é caracterizada pela sua função densidade de probabilidade $f(x)$, como se esquematiza na figura 13, e que apresenta as seguintes propriedades:

- A probabilidade de se verificar um acontecimento X , entre os limites $X=a$ e $X=b$, $P(a \leq X \leq b)$, é igual à área A compreendida entre a curva e o eixo das abcissas, entre os limites a e b :

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx = \text{Área } A$$

Sendo conhecidos o valor de μ e σ , para determinar a probabilidade relativa a um determinado intervalo através da expressão anterior torna-se um pouco demorado. Deste modo, para tornar o cálculo mais rápido existem tabelas que o permitem calcular, aproximadamente, probabilidades com a distribuição normal. No entanto, as tabelas são para a distribuição normal estandardizada.

- A Área compreendida entre a totalidade da respectiva curva e o eixo das abcissas é igual à unidade:

$$P(-\infty \leq X \leq +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

- $f(x) \geq 0$, para todos os valores de x ,
- $P(x=k)=0$, para todos os valores fixos de k ,
- $P(a < x < b) = P(a \leq x < b) = P(a < x \leq b) = P(a \leq x \leq b)$.

A variável aleatória x apresenta uma distribuição normal ou de Gauss, com parâmetros μ e σ^2 , quando a sua função densidade de probabilidade é da forma, para $-\infty < x < +\infty$:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

e possui as seguintes características, como se verifica na figura 15:

- μ é o valor esperado de x , isto é, $E(x)=\mu$,
- σ^2 é a variância de x , $\text{Var}(x)=\sigma^2$,
- σ é o desvio padrão de x , $\text{DP}(x)=\sigma$,
- a média, a moda e a mediana são iguais a μ ,
- $f(x)$ é simétrica em torno da média μ ,
- $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x)=0$, quando $x \rightarrow \pm\infty$,
- $x=\mu$ é o ponto máximo de $f(x)$,
- $\mu-\sigma$ e $\mu+\sigma$ são os pontos de inflexão de $f(x)$.

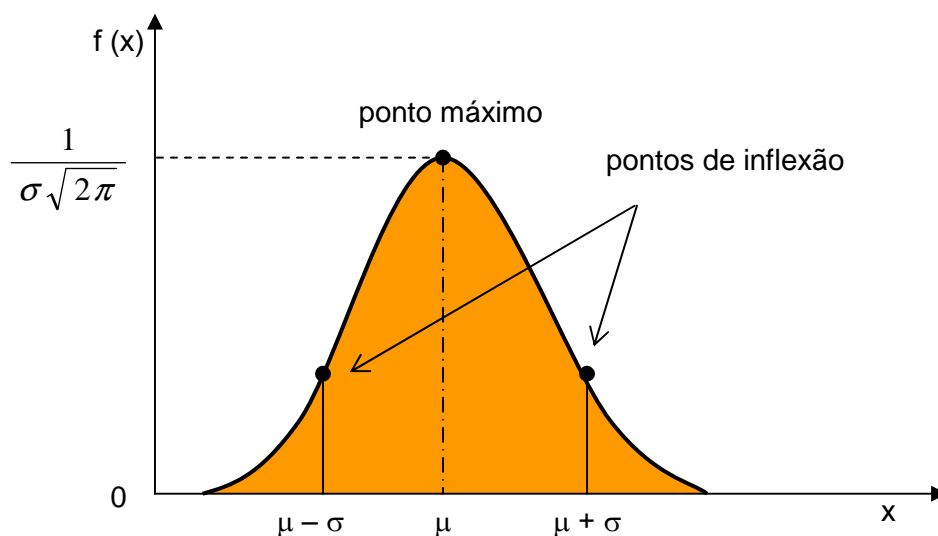


Figura 15: Função densidade de probabilidade para a distribuição normal ou de Gauss.

Resumindo, as principais características da função densidade de probabilidade da distribuição Normal são as seguintes:

1. Tem forma de "sino" e um único máximo (é unimodal) para $x=\mu$;
2. É simétrica relativamente à recta $x=\mu$, pelo que a mediana (valor que divide a curva normal em duas partes de área igual) e a moda (maximizante da função densidade de probabilidade) ocorrem para $x=\mu$;
3. Tem pontos de inflexão para $x=\mu\pm\sigma$ e aproxima-se assintoticamente do eixo das abcissas, isto é, $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x)=0$.

Considerando agora uma distribuição normal em que se tem $x \in N(\mu, \sigma^2)$ ao definir-se a seguinte transformação de variáveis:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

obtém-se a distribuição normal padrão ou reduzida:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Z^2}$$

sendo $E(Z)=0$ e $Var(Z)=1$, como se mostra na figura 16, em que $Z \in N(0,1)$ é designada por variável normal padrão ou reduzida. Por conseguinte, a área limitada por $f(Z)$ e pelo eixo das abcissas, entre $\frac{a-\mu}{\sigma}$ e $\frac{b-\mu}{\sigma}$, representa a probabilidade de um acontecimento x se situar entre a e b :

$$\begin{aligned} P(a < X < b) &= P\left(\frac{a-\mu}{\sigma} < \frac{X-\mu}{\sigma} < \frac{b-\mu}{\sigma}\right) = P\left(\frac{a-\mu}{\sigma} < Z < \frac{b-\mu}{\sigma}\right) = \\ &= P(Z_1 < Z < Z_2) \end{aligned}$$

Esta transformação permite calcular as probabilidades de uma forma bastante simples, como se exemplifica através da determinação da probabilidade de um determinado acontecimento se situar entre $Z=1,12$ e $Z=2,55$ (figura 17):

$$\begin{aligned} \text{Área A} &= P(1,12 < Z < 2,55) = P(Z < 2,55) - P(Z < 1,12) = \\ &= (\text{Área entre } -\infty \text{ e } 2,55) - (\text{Área entre } -\infty \text{ e } 1,12) = \\ &= A(2,55) - A(1,12) = 0,9946 - 0,8686 = 0,1260 \text{ (12,6 \%)} \end{aligned}$$

Note-se que os valores de $P(Z < Z_k) = A(Z_k)$ se obtêm directamente através da tabela da variável normal padrão.

6.2. Bases estatísticas

Para o entendimento da filosofia Seis Sigma durante um trabalho de inferência, sobre o comportamento de produtos e processos torna-se

necessário utilizar a definição de desvio padrão como base para o seu estudo. Devido à variabilidade dos processos produtivos, normalmente operam com um limite máximo e mínimo de dispersão sendo estes estipulados pelos clientes, e em que a eficiência do processo é dada pela comparação entre os limites estipulados e a dispersão em torno do produto especificado.

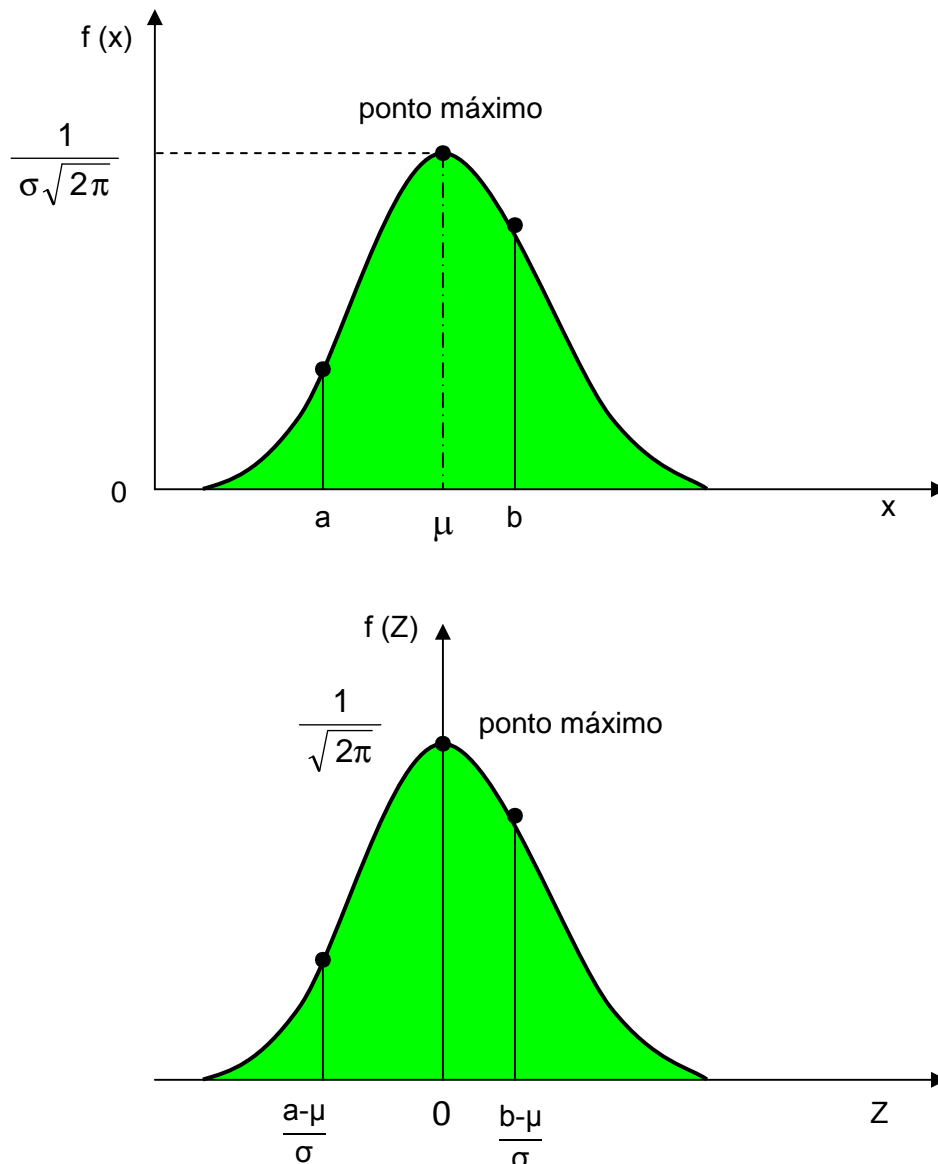


Figura 16: Função densidade de probabilidade para a distribuição normal ou de Gauss (transformação da variável x na variável normal padrão ou reduzida Z).

Recorrendo-se à distribuição normal, e tendo em atenção os processos de fabricação de produtos, a probabilidade de se ter um acontecimento x

situado entre $\mu - k\sigma$ e $\mu + k\sigma$ 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 $\mu - k\sigma$ com a probabilidade desse mesmo acontecimento se situar entre $\mu + k\sigma$ e $+\infty$. De acordo com esta análise, apresentam-se no quadro 3 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 $\mu - 4\sigma$ e $\mu + 4\sigma$, a estimativa de produtos fabricados em conformidade é 99,9937 % e de produtos defeituosos, 0,0063 %, ou seja, 63 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 $\mu \pm 4,5$.

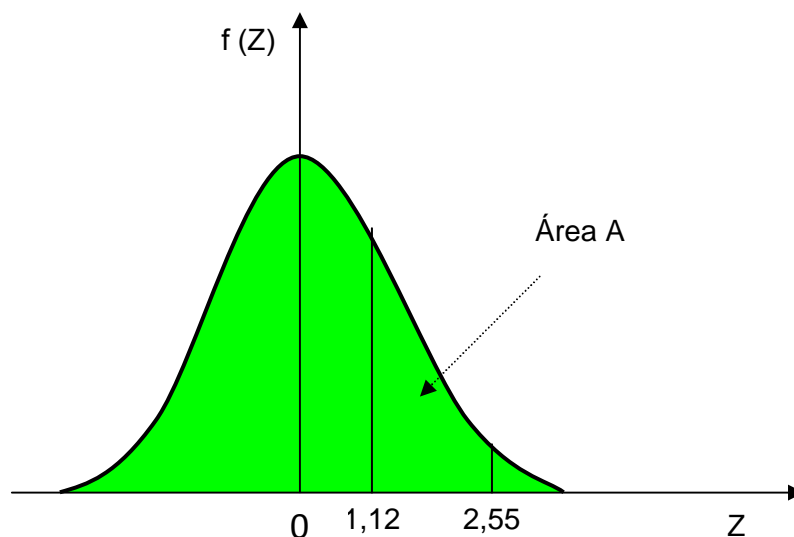


Figura 17: Exemplificação de cálculo de probabilidades através da variável padrão Z.

Na metodologia utilizada na Seis Sigma pode-se observar que quanto maior o número de sigmas, ao analisar o processo em relação aos limites de

especificação, menor será a quantidade de produtos produzidos fora da especificação dos clientes. Consequentemente, com o aumento do sigma dentro dos requisitos, a necessidade de testes e inspeções é reduzida, os custos e os ciclos de tempo também são reduzidos e em contrapartida a fiabilidade aumenta, e como tal a satisfação do cliente também aumenta.

Intervalo de variação	Percentagem de produtos em conformidade	Percentagem de produtos com defeito	Produtos com defeito por milhão
$\mu \pm 1\sigma$	68,26	31,74	317400
$\mu \pm 2\sigma$	95,46	4,54	45400
$\mu \pm 3\sigma$	99,73	0,27	2700
$\mu \pm 4\sigma$	99,9937	0,0063	63
$\mu \pm 4,5\sigma$	99,99966	0,00034	3,4
$\mu \pm 5\sigma$	99,999943	0,000057	0,57
$\mu \pm 6\sigma$	99,9999998	0,0000002	0,002

Quadro 3: Estimativas (probabilidades) de produtos em conformidade e defeituosos.

Se a eficiência produtiva puder ser gradual e continuamente melhorada, é possível supor uma situação hipotética onde o número de sigmas cresce até ao ponto em que se atinge praticamente a perfeição.

Na prática, constata-se que os processos produtivos de longo prazo, quando comparados com os de curto prazo, tendem a apresentar variações na média ou aumentos do desvio padrão, tendo-se considerado assim como aceitável uma diferença de $6\sigma - 4,5\sigma = 1,5\sigma$, 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, tem-se uma outra curva normal (longo prazo) cujo eixo de simetria, que corresponde à sua média μ_L , se encontra deslocado do eixo da curva normal inicial (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 $4,5\sigma_c$, como se mostra na Figura 19. Ou seja, o objectivo desta transformação consiste em fazer com que a área situada entre $\mu_L+4,5\sigma_c$ e infinito represente a estimativa de 3,4 DPM. Com este “truque”, que consiste na translação da curva normal inicial, 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. Para melhor compreensão desta problemática, apresentam-se na figura 18 duas distribuições normais tendo ambas a mesma média mas desvios padrão diferentes.

Ao introduzir-se um coeficiente de $1,5\sigma_c$ no processo, está-se a alterar a variabilidade do processo, implicando uma alteração da curva normal em termos de amplitude, sendo que ao se realizar a translação da curva normal e consequente alteração da média, as áreas que vão desde $\mu_c+4,5\sigma_c$ até infinito e $\mu_L+4,5\sigma_c$ até infinito terão de ser obrigatoriamente diferentes, porém em grande parte das propostas apresentadas esta discrepância não é considerada.

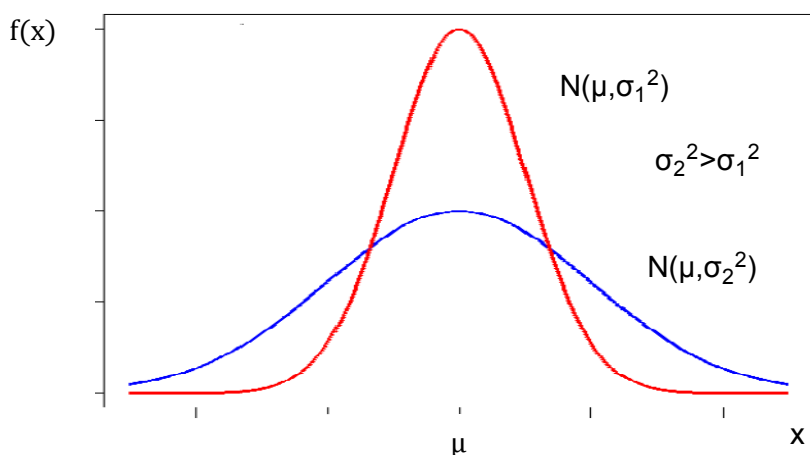


Figura18: Curva normal com médias iguais e diferentes variâncias.

De acordo com aquela adaptação, têm-se assim as seguintes densidades de probabilidade (figura 19) [14,15]:

- 6σ verdadeiro (operações de curto prazo):

$$f_c(x) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_c}{\sigma_c} \right)^2}$$

- 6σ adaptado (operações de longo prazo):

$$f_L(x) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_L}{\sigma_c} \right)^2}$$

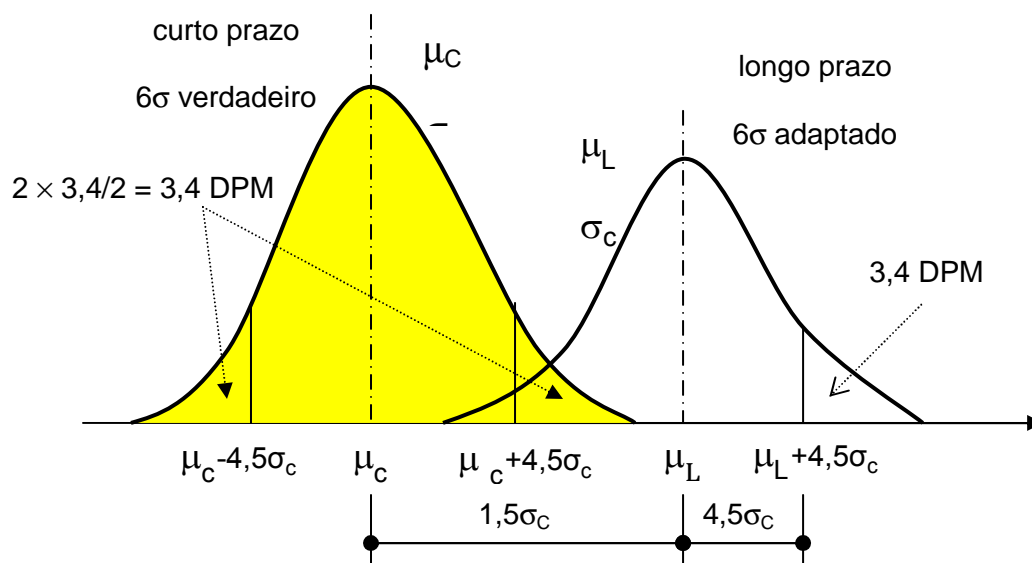


Figura 19: Particularização do processo Seis Sigma, com base na distribuição normal, para a situação de 3,4 DPM.

Deste modo, e de uma forma genérica, as áreas explicitadas nas duas distribuições da figura 20, relativas aos DPM, áreas essas idênticas, são, respectivamente:

- 6σ verdadeiro:

$$\begin{aligned} & (\text{Área entre } -\infty \text{ e } \mu_c - k\sigma_c) + (\text{Área entre } \mu_c + k\sigma_c \text{ e } +\infty) = \\ & = P(-\infty < x < \mu_c - k\sigma_c) + P(\mu_c + k\sigma_c < x < +\infty) = \\ & = A/2 + A/2 = A = \\ & = 1 - (\text{Área entre } \mu_c - k\sigma_c \text{ e } \mu_c + k\sigma_c) = \\ & = 1 - P(\mu_c - k\sigma_c < x < \mu_c + k\sigma_c) = \\ & = 1 - (1 - A/2 - A/2) = A \end{aligned}$$

- 6σ adaptado:

$$(\text{Área entre } \mu_L + k\sigma_C \text{ e } +\infty) = P(\mu_L + k\sigma_C < x < +\infty) = A$$

Com base nesta análise, no quadro 4 apresenta-se a correspondência entre os níveis sigma para estas duas distribuições. A ferramenta Seis Sigma procura alcançar uma produção de “classe mundial” em que a qualidade é o ponto de partida. O termo Seis Sigma significa que, num processo produtivo onde se tenha um desvio em relação à média de seis desvios padrão como especificação de fabrico, o número de produtos defeituosos fabricados é praticamente nulo. Por outro lado, este procedimento baseia-se nos métodos de cálculo utilizados nos estudos de “capabilidade” dos processos, onde os desvios em relação à média são contabilizados em unidades sigma.

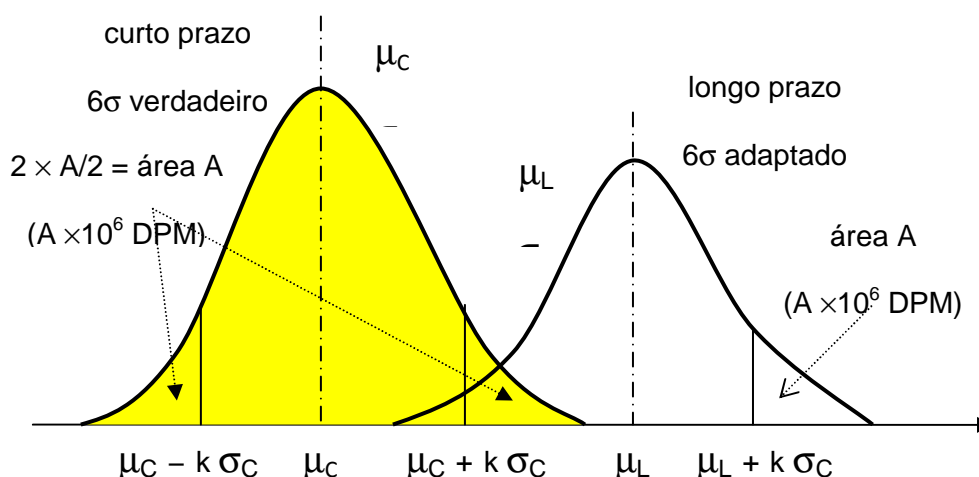


Figura 20: Generalização do processo Seis Sigma, com base na distribuição normal.

Note-se que existe diferença entre os conceitos de capacidade e “capabilidade” de um processo – a capacidade representa a aptidão, em termos de recursos humanos, materiais e logísticos, que um determinado processo apresenta para a fabricação de um determinado produto, enquanto que a “capabilidade” (*capability*) é a capacidade que esse processo possui não só de fabricar os produtos, mas também de ser capaz de os fabricar dentro das especificações previamente definidas.

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

Quadro 4:Correspondência entre os níveis sigma de curto prazo e de longo prazo.

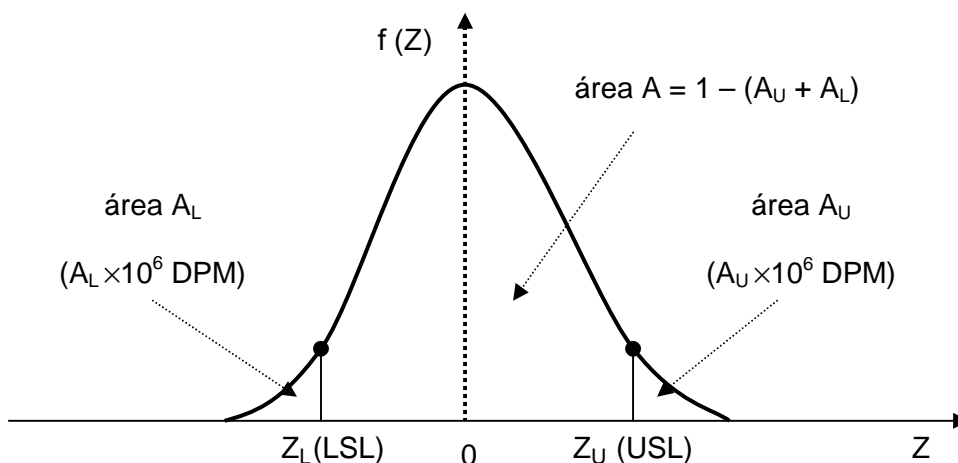


Figura 21: Processo Seis Sigma, com base na distribuição normal padrão, e com a definição dos limites superior e inferior da especificação.

6.3.Cálculo do Nível Sigma

Como se salientou anteriormente, através do quadro 4, 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. Deste modo, deve-se recorrer à utilização da variável normal padrão, mostrando-se na figura 21 a distribuição normal $f(z)$, com $Z \in N(0,1)$, e com a definição dos limites superior e inferior da especificação. Por sua vez, na figura 22 mostra-se a mesma distribuição normal, mas agora com a definição apenas de um limite superior de

especificação, equivalente. Seguidamente considera-se a curva padrão, introduzindo-se no final os cálculos relativamente ao factor de translação 1,5.

A sequência de cálculo deverá ser a seguinte:

- Imposição dos limites inferior e superior da especificação:

$$LSL = \mu - k\sigma$$

$$USL = \mu + k\sigma$$

- Cálculo dos respectivos valores da variável Z:

$$Z_L = \frac{LSL - \mu}{\sigma} = \frac{(\mu - k\sigma) - \mu}{\sigma} = -k$$

$$Z_U = \frac{USL - \mu}{\sigma} = \frac{(\mu + k\sigma) - \mu}{\sigma} = k$$

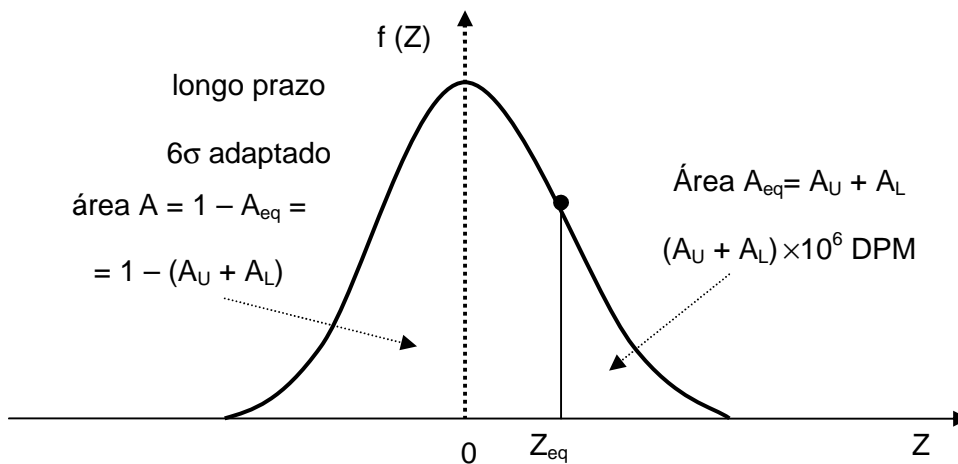


Figura 22: Processo Seis Sigma, com base na distribuição normal padrão, e com a definição apenas de um limite superior de especificação, equivalente.

- Cálculo das áreas A_L , A_U e A :

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

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

$$A = 1 - (A_U + A_L)$$

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:

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

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

- Cálculo do nível sigma: como o eixo da distribuição normal para processos de longo prazo se encontra desviado de 1,5 sigmas em relação ao eixo da distribuição para os processos de curto prazo (figuras 19 e 20), atendendo a que, nesta sequência prática de cálculo, se considerou a mesma curva padrão, então há que introduzir aquele factor para se obter, em termos equivalentes de longo prazo, o respectivo nível sigma. Por conseguinte, este nível corresponde à translação de Z_{eq} em 1,5 sigmas, de modo a acompanhar o desvio da curva normal, tendo-se assim:

$$\text{nível sigma} = Z_{eq} + 1,5$$

Note-se que, no que respeita à curva normal das figuras 21 e 22, tem-se:

$$Z_{ep} = \frac{(\mu + m\sigma) - \mu}{\sigma} = m$$

mas, ao desviar-se essa curva de $1,5\sigma$, a nova abcissa de Z passará a ser:

$$Z_{eqd} = \frac{(\mu + m\sigma + 1,5\sigma)}{\sigma} = m + 1,5$$

Por conseguinte, se for $m = 4,5$ então $Z_{eqd} = \text{nível sigma} = 4,5 + 1,5 = 6$.

Para melhor compreensão, considere-se o caso de um processo industrial, com uma média $\mu=200$ e um desvio padrão $\sigma =8$. Seguindo a sequência de cálculos que se discriminou, têm-se os seguintes valores:

$$LSL (\text{imposto}) = 184$$

$$USL (\text{imposto}) = 212$$

$$Z_L = \frac{184-200}{8} = -2$$

$$Z_U = \frac{212-200}{8} = 1,5$$

$$A_L = P(Z < -2) = P(Z > 2) = 1 - P(Z < 2) = 1 - A(2) = \\ = 1 - (0,5 + 0,0540) = 1 - 0,5540 = 0,4460$$

$$A_U = P(Z > 1,5) = 1 - P(Z < 1,5) = 1 - A(1,5) = \\ = 1 - (0,5 + 0,0339) = 1 - 0,5339 = 0,4661$$

$$A = 1 - (0,0668 + 0,0228) = 0,9104$$

$$A_{eq} = 1 - 0,9104 = 0,0896$$

$$A(Z_{eq}) = 0,9104$$

$$0,9104 - 0,5 = 0,4104$$

Utilizando a tabela da normal padrão, tem-se assim:

$$Z_{eq} = 1,34$$

$$\text{nível sigma} = 1,34 + 1,5 = 2,84$$

Para a determinação deste nível, é possível utilizar-se, em alternativa, o “método dos defeitos por milhão”, que consiste nos seguintes cálculos [14,15,16]:

$$Z_L = -2 \Rightarrow A_L = 0,0228 \Rightarrow 22800 \text{ DPM}$$

$$Z_U = 1,5 \Rightarrow A_U = 0,0668 \Rightarrow 66800 \text{ DPM}$$

$$\text{Total dos defeitos} = 22800 + 66800 = 89600 \text{ DPM}$$

$$\text{Total das conformidades} = 1000000 - 89600 = 910400$$

$$A(Z_{eq}) = 0,9104 \Rightarrow Z_{eq} = 1,34 \Rightarrow \text{nível sigma} = 1,34 + 1,5 = 2,84$$

De uma forma mais directa, para 89600 DPM, recorrendo-se ao quadro 4 (longo prazo) obtém-se sensivelmente $2,84\sigma$. Ainda para melhor compreensão, considere-se o mesmo processo produtivo, com $\mu=200$ e $\sigma=8$, mas agora com uma especificação de $\pm 4,5 \sigma$. Seguindo a mesma metodologia, tem-se:

$$\text{LSL (imposto)} = 200 - 4,5\sigma = 164$$

$$\text{USL (imposto)} = 200 + 4,5\sigma = 236$$

$$Z_L = \frac{164-200}{8} = -4,5$$

$$Z_U = \frac{236-200}{8} = 4,5$$

$$Z_L = -4,5 \Rightarrow A_L = 1,7 \times 10^{-6} \Rightarrow 1,7 \text{ DPM}$$

$$Z_U = 4,5 \Rightarrow A_U = 1,7 \times 10^{-6} \Rightarrow 1,7 \text{ DPM}$$

$$\text{Total dos defeitos} = 1,7 + 1,7 = 3,4 \text{ DPM}$$

$$\text{Total das conformidades} = 1000000 - 3,4 = 999996,6$$

$$A(Z_{eq}) = 0,9999966 \Rightarrow Z_{eq} = 4,5 \Rightarrow \text{nível sigma} = 4,5 + 1,5 = 6$$

Tendo em atenção a figura 19, para este último exemplo tem-se assim:

$$\mu_C = 200$$

$$LSL = \mu_C - 4,5\sigma_C = 200 - 4,5 \times 8 = 164$$

$$USL = \mu_C + 4,5\sigma_C = 200 + 4,5 \times 8 = 236$$

$$\mu_L = \mu_C + 1,5\sigma_C = 200 + 1,5 \times 8 = 212$$

$$\mu_L + 4,5\sigma_C = (\mu_C + 1,5\sigma_C) + 4,5\sigma_C = \mu_C + 6\sigma_C = 200 + 6 \times 8 = 248$$

6.4. Índices de Capabilidade

A filosofia do programa Seis Sigma enfatiza um controlo estatístico de qualidade que tenta definir os padrões da excelência operacional. Esta filosofia esforça-se para alcançar operações que não ultrapassem os 3,4 defeitos por milhão, considerando para tal a pior condição. Como tal, é usual que a estimativa de números de defeitos esperados seja feita considerando-se o processo deslocado em 1,5 sigma, proveniente de uma variação natural na média dos processos contínuos ao longo do tempo.

A “capabilidade” de um processo 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 [14,15,16]:

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

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

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

sendo, como se discrimina na figura 20, 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:

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

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

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

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

No quadro 5 verifica-se a relação existente entre o índice C_p e a qualidade do produto [16].

A variabilidade é uma medida do grau de dispersão dos resultados dos processos em torno do valor médio. As empresas buscam reduzir continuamente a variabilidade, se bem que eliminá-la é impossível. As formas mais comuns de expressar a variabilidade deriva das medidas estatísticas da amplitude, da variância e do desvio-padrão. O uso de técnicas estatísticas pode ajudar no entendimento da variabilidade e, desta forma, auxiliar as organizações a resolverem os problemas de melhoria e eficácia e eficiência.

No programa Seis Sigma o objectivo é estreitar ou reduzir a variação até que os seis desvios-padrão possam ser comprimidos dentro dos limites de especificação do cliente.

C_p	% de produto fora da tolerância
1,0	0,270
1,2	0,032
1,4	0,0027
1,6	0,00016
1,8	0,0000067
2,0	0,0000002

Quadro 5: C_p e qualidade do produto.

6.5.Melhoria contínua

A Melhoria Contínua é uma ferramenta que se procura implementar ou utilizar constantemente de um forma gradual em todos os sectores da empresa de forma a que esse resultado seja visível no produto final.

Considere-se a fabricação de parafusos sextavados, em que o seu comprimento médio é $\mu=15$ cm e o desvio padrão é $\sigma=0,002$ cm, sendo permitido um desvio em relação à media de $\pm 3\sigma = \pm 3 \times 0,002 = \pm 0,006$ cm. Ou seja, todos os parafusos fabricados com um comprimento situado entre

15 – 0,006 = 14,994 cm e 15 + 0,006 = 15,006 cm estão em conformidade com as especificações, enquanto que os restantes, ao saírem desse intervalo, são considerados defeituosos. Recorrendo ao quadro 6, conclui-se que, em cada lote de 1 milhão de parafusos, é provável que 997300 estejam em conformidade e os restantes 2700 sejam defeituosos. Se, todavia, o desvio padrão for reduzido para metade, isto é, para 0,001 cm, na sequência da melhoria da qualidade da fabricação, constata-se, do quadro 3, que o nível da qualidade para $\pm 6\sigma$ é o mesmo que se tinha anteriormente para $\pm 3\sigma$ (14,994 – 15,006 cm). Contudo, a probabilidade de haver parafusos fabricados com defeito desce de 2700 DPM para 0,002 DPM, concluindo-se assim que a melhoria dos processos produtivos reduz o número de produtos defeituosos [16].

Intervalos de variação $\mu=15\text{cm}$	Desvio padrão	
	0,002 cm	0,001 cm
$\mu \pm 1\sigma$	14,998 – 15,002	14,999 – 15,001
$\mu \pm 2\sigma$	14,996 – 15,004	14,998 – 15,002
$\mu \pm 3\sigma$	14,994 – 15,006	14,997 – 15,003
$\mu \pm 4\sigma$	14,992 – 15,008	14,996 – 15,004
$\mu \pm 5\sigma$	14,990 – 15,010	14,995 – 15,005
$\mu \pm 6\sigma$	14,988 – 15,012	14,994 – 15,006

Quadro 6: Variação do nível de qualidade em função do desvio padrão.

Verifica-se a partir deste exemplo que é bastante importante introduzir melhorias contínuas de forma a alcançar a optimização dos processos produtivos. Ao se procurar melhorar continuamente está-se a tentar optimizar processos, ou seja, está-se a tentar reduzir imperfeições que no final de todo o processo produtivo, pode representar uma redução dos defeitos e um consequente aumento dos lucros. Para que tal objectivo seja alcançado é vital a redução do desvio padrão, como se verificou no exemplo anterior como sinal da redução da variabilidade e do aumento da qualidade dos produtos confeccionados.

Ainda em relação a este exemplo, o índice de “capabilidade” do processo apresenta os valores $C_p = 1,00$ para $\sigma = 0,002$ cm, e $C_p = 2,00$ para $\sigma = 0,001$ cm. Ou seja, para $\sigma = 0,002$ cm o processo encontra-se na fronteira entre a adequação e a inadequação, enquanto que, para $\sigma = 0,001$ cm, se tem um verdadeiro Seis Sigma.

6.6.Implementação

A implementação da Seis Sigma não se trata de uma tarefa simples, isto é, normalmente é exigido que os elementos considerados sejam aplicados de forma adequada na organização. Portanto, sintetizando destacam-se os seguintes pontos que garantem o sucesso e continuidade do programa Seis Sigma [14,15,16]:

- ✓ Comprometimento da alta administração;
- ✓ Renovação cultural (conhecimento, entendimento e aceitação do programa por parte dos colaboradores);
- ✓ Controlo e divulgação dos ganhos na empresa;
- ✓ Entendimento do método para alcançar as metas (DMAIC);
- ✓ Profissionais adequados para cada posto específico;
- ✓ Reconhecimento dos esforços dispendidos por parte de todos os profissionais envolvidos;
- ✓ Fácil acesso a informações necessárias para o sucesso dos projectos.

Para uma total e bem sucedida implementação da filosofia Seis Sigma é necessário analisar e examinar várias áreas da empresa, pois esta terá de funcionar obrigatoriamente como um todo. O programa Seis Sigma terá de partir da parte de cima da hierarquia ate à parte inferior em que todos na organização devem saber a situação ideal de qualidade (meta) para as suas actividades.

Na prática, há que ter bastante cuidado na adopção da Seis Sigma, devendo, em primeiro lugar, ter-se a consciência dos seguintes aspectos, fundamentais:

- não é uma cura milagrosa para todos os males da empresa;
- não representa uma garantia de sucesso;
- não se aplica exclusivamente aos processos produtivos industriais;
- não é mais uma, entre outras mais, ferramenta simples de gestão.

Logo, previamente, há que ter em atenção as seguintes questões:

- o que é a Seis Sigma, e o que representa?
- encontrar-se-á a nossa organização interessada e em condições para aplicá-la?
- qual seria o montante dos investimentos a realizar, em recursos humanos e materiais, para se conseguir a melhoria da qualidade quer dos processos produtivos, quer dos produtos fabricados?
- se a nossa empresa já produz com elevados padrões de qualidade, possuindo uma estrutura de funcionamento moderna e estável, será que se justificariam investimentos avultados para melhorar apenas um pouco mais, por vezes sem significado palpável para a própria empresa e para a satisfação dos seus clientes?
- se, por exemplo, uma especificação de 10 DPM nos produtos fabricados assegura um elevado nível de mais valias para a empresa, assim como a satisfação plena dos seus clientes, qual seria o interesse em reduzir aquela especificação de qualidade para 3,4 DPM?
- qual seria o rácio entre as mais valias previsíveis com a adopção das novas filosofias e os investimentos necessários à sua concretização?
- quando e em que condições a Seis Sigma poderá ser utilizada de uma forma vantajosa?
- qual é a melhor forma de introduzi-la e qual o envolvimento necessário?

A Instalação da Seis Sigma nas organizações tem o intuito de incrementar a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção, de uma forma estruturada, considerando todos os aspectos importantes para o negócio. Os principais benefícios para a implantação do Seis Sigma são:

- ✓ Diminuição dos custos organizacionais;
- ✓ Aumento significativo da qualidade e produtividade de produtos e serviços;
- ✓ Acréscimo e retenção de clientes;
- ✓ Eliminação das actividades que não agregam valor;
- ✓ Mudança cultural benéfica.

Neste e em todos os programas de qualidade os resultados são preponderantes, e como tal devem ser significativos de forma a levar a uma consolidação e a uma solidificação da empresa. Por último, os profissionais envolvidos devem manter-se motivados e interessados de forma a garantir o sucesso da filosofia Seis Sigma.

A maioria dos profissionais de qualidade, utilizam as mesmas ferramentas aplicando a estatística ao longo das décadas. O conceito Seis Sigma coloca algumas inovações nas ferramentas tradicionais:

1. Colocação de um modelo bem definido para atingir a melhoria, conhecido por DMAIC. A computação é utilizada intensivamente;
2. Aplicação do modelo apenas em projectos reais para obter resultados idênticos aos previstos;
3. Formação de profissionais de forma a se aglomerar os passos anteriores, através de um regime de formação intenso, havendo troca de agentes no trabalho durante a formação.

A filosofia Seis Sigma é caracterizada pela utilização de ferramentas estatísticas na busca da eliminação de defeitos em todos os processos da empresa. Uma das ferramentas utilizadas é o DMAIC que é uma estrutura

disciplinada e uma abordagem rigorosa para alcançar a melhoria do processo, sendo composto por cinco etapas: Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar. Esta ferramenta caracteriza-se por ser uma integração de todas as etapas em que cada etapa anterior está relacionada com a seguinte. O modelo DMAIC define-se nas através das seguintes cinco etapas:

Etapa 1: Definição – No primeiro passo ao iniciar-se o modelo Seis Sigma é de elevada importância começar por definir o problema, estabelecer os marcos iniciais e finais. Estabelecer os membros com as respectivas responsabilidades, definir as métricas que indicarão se o projecto terá ou não sucesso e qual a estimativa de retorno que a empresa terá com a execução do projecto. Primeiramente deve-se definir as questões no departamento ou organização, sendo por vezes usual planear os processos, de forma a obter-se uma melhor compreensão e localizar os problemas. Quando se combate um ou mais problemas é importante definir parâmetros, de forma a entender no âmbito do projecto o que se pretende obter. Entendendo o raio de acção do problema, então define-se as considerações do projecto (duração, testes, objectivos, as ferramentas e pessoal intervenientes). Contudo, qualquer projecto necessita de um limite de eventos, não limitando em qualidade os seus resultados, sendo que quanto mais avança na resolução dos problemas mais próximos se está dos objectivos. O principal objectivo da filosofia Seis Sigma é usar uma forma de equacionar uma definição de factores vitais, para serem medidos, analisados, melhorados e controlados por uma linha de resultados. Os factores devem explicar directamente a causa e efeito, relacionando o processo de saída, sendo medido em relação à entrada que conduz o processo. Quando se identifica esses factores, pode-se concentrar os esforços nesses factores, obtendo consideráveis retornos, podendo-se avançar para as quatro etapas do método.

Etapa 2: Medição – O passo de medição tem o objectivo de determinar a situação do processo até ao início do projecto, ou seja, determinar a situação corrente. A verificação do sistema de medição também é realizada para garantir que os resultados sejam confiáveis. Para a implementação da Seis Sigma, uma empresa necessita alinhar as suas métricas e actividades de melhoria com as necessidades dos negócios. Quando se inicia a fase de

medição, primeiramente deve-se identificar os processos cruciais com influência nesta medição. Após estas duas etapas tem-se então a noção dos factores vitais do processo podendo avançar-se assim para uma fase de análise.

Etapa 3: Análise – Após a etapa de medição, segue-se a etapa de análise, onde se continua a verificar as variáveis de entrada através do entendimento das relações entre as causas e os efeitos do processo e potenciais fontes de variabilidade. Nesta etapa são normalmente utilizadas várias ferramentas para uma rápida e fácil implementação deste passo. Até este ponto, procura-se entender o porquê da geração de defeitos e das paragens, sendo identificadas múltiplas razões. Para tal são formuladas razões e testes estatísticos para determinar quais os factores críticos para o resultado. É nesta altura que a fase da análise se torna cíclica, através de uma serie de hipóteses de teste. O ciclo consiste nos seguintes passos:

- ✓ Desenvolver hipóteses em torno da(s) causa(s);
- ✓ Analisar o processo e/ou dados;
- ✓ Se a hipótese está incorrecta, refina-se as hipóteses e volta-se às etapas anteriores, caso contrário, termina-se o ciclo pois está resolvido o enigma.

Os testes de hipóteses usam uma série de detalhes analisados para calcular a probabilidade de o factor que se identificou ser o responsável principal na qualidade do processo. As conclusões estatísticas são de elevada importância para desenvolver soluções práticas, desenvolver planos e tomar acções correctas.

Etapa 4: Implementação das melhorias – Neste passo estabelece-se a implementação da melhoria, considerando as acções a serem implementadas com os prazos e responsáveis. Após a realização das experiências, define-se quais os valores a otimizar das variáveis de entrada, resultando assim nas melhores variáveis de saída.

Etapa 5: Controlo – Nesta etapa final, com as poucas variáveis de entrada críticas para o processo determinadas, bem como os seus valores otimizados para se obter os seus valores desejados de variáveis de saída, deve-se ter em consideração um plano de controlo para que os ganhos conquistados sejam mantidos. Na fase de controlo continua-se a documentar e

a monitorizar processos pelas métricas definidas e outras ferramentas de medida, para tomar conhecimento durante todo o tempo. Em alguns casos a fase de controlo não chega a realizar-se pois o problema foi integralmente resolvido. Seguindo a sequência lógica do DMAIC, a fase de controlo permite manter a qualidade e produtividade a um elevado nível. Através do planeamento de processos e das medições e análises de cada factor, descobre-se como improvisar a forma de controlar processos produtivos.

Uma outra metodologia utilizada para além do DMAIC é a DMADV, sendo ambas inspiradas no ciclo *Plan-Do-Check-Act*. O processo DMADV (definir, medir, analisar, desenvolver, verificar) é um sistema de melhoria utilizado para desenvolvimento de novos processos ou produtos em níveis de qualidade Seis Sigma. O modelo DMADV define-se em cinco etapas sendo que as três iniciais (Definição, Medição e Análise), são idênticas à metodologia DMAIC e as restantes duas (Desenvolver e Verificar), definem-se da seguinte forma [16]:

Etapa 4: Desenvolver – Nesta etapa pretende-se desenvolver o projecto (protótipo), realizar os testes necessários e preparar a produção em pequena e larga escala. Isto é, Projectar em detalhe o produto ou o processo, criando mecanismos de verificação das conformidades.

Etapa 5: Verificar – Nesta etapa final, da metodologia DMADV, procura-se testar e validar a viabilidade do projecto e lançar o produto no mercado, ou seja, verificar o projecto e implementar.

Apesar desta filosofia obrigar ao empenhamento de toda a organização, deve ser criada uma estrutura restrita com os seguintes níveis hierárquicos [1]:

- **Direcção Executiva** – define os objectivos e cria a estrutura necessária para a sua implementação, e selecciona igualmente os recursos humanos e os projectos;
- **Campeões** – são os responsáveis pela implementação da Seis Sigma em toda a organização;

- **Mestres Cinturões Negros** – dão apoio aos Campeões e são os guias dos Cinturões Negros e Verdes, assegurando a aplicação consistente da Seis Sigma a todos os sectores da organização;
- **Cinturões Negros** – são os responsáveis pelas equipas de trabalho que têm como funções a análise e o acompanhamento dos processos de melhoria contínua;
- **Cinturões Verdes** – integram as equipas lideradas pelos Cinturões Negros, sendo os executores das tarefas definidas para essas equipas.

Por conseguinte, apresentam-se algumas considerações em relação a possíveis implementações em determinadas organizações, da filosofia Seis Sigma:

- ✓ as organizações que a queiram adoptar deverão, em primeiro lugar, proceder a uma auto-avaliação rigorosíssima, com a finalidade primeira de avaliarem não só os investimentos a realizar e as mais valias a obter, mas também a receptividade por parte dos seus recursos humanos;
- ✓ a estrutura do tecido empresarial em Portugal, que é constituído por mais de 95 % de pequenas e médias empresas, difere significativamente do existente nas grandes potências económicas, daí que a aplicação das novas filosofias deverá ter em atenção que foram criadas e desenvolvidas para serem utilizadas em estruturas completamente diferentes das nossas;
- ✓ a implementação deverá ser efectuada em função da especificidade de cada empresa, utilizando uma verdadeira metodologia JIT, se assim se poderá designar, ou seja, no tempo certo, com as metodologias correctas, com um planeamento adequado, e com a duração mais aconselhável.

6.7. Análise crítica

Realizando uma análise crítica a este modelo de qualidade denominado de Seis Sigma, é incontornável a constatação da falta de rigor e de veracidade matemática. É um modelo que apresenta como resultado 3,4 DPM, quando, para 6 sigma da distribuição normal, se tem na realidade 0,002 DPM.

A adopção de 3,4 DPM obriga à utilização de um “desvio” de 1,5 sigmas da distribuição normal, de modo a conseguir-se a correspondência entre 4,5 sigmas e 6 sigmas. Este “desvio” tem como objectivo a definição de uma outra distribuição normal, com o mesmo desvio padrão mas com a sua média “desviada” de 1,5 sigmas.

De facto, na prática, o nível 6 sigma (3,4 DPM) corresponde, na verdadeira distribuição normal, a 4,5 desvios padrão, daí que não seja muito correcto efectuar uma análise baseada nessa distribuição.

O “truque” de se considerar 4,5 sigmas como se fossem 6 sigmas, obriga a todo um conjunto de manipulações probabilísticas, correndo-se o risco de serem confusas e violadoras de uma verdadeira análise rigorosa da distribuição normal. Note-se, como se provou anteriormente, que não se tem de uma forma rigorosa $1,5 + 4,5 = 6$, mas sim aproximadamente, com uma diferença insignificante devido às áreas em jogo serem reduzidíssimas.

Esta situação, confusa e violadora dos princípios matemáticos da distribuição normal, é apelidada de “*confidence trick*” (conto do vigário), por alguns comentadores.

Joseph Juran, talvez o maior pensador e especialista em qualidade do século XX, descreveu a filosofia Seis Sigma como sendo “*a basic version of quality improvement*”, afirmando ainda que “*there is nothing new there. It includes what we used to call facilitators. They’ve adopted more flamboyant terms, like belts with different colors. I think that concept has merit to set apart, to create specialists who can be very helpful. Again, that’s not a new idea*”.

Sem a adopção do factor 1,5 toda esta confusão seria evitada, tornando o método de análise probabilística isento de incongruências. Como tal, para que as bases probabilísticas e estatísticas seguissem rigorosamente a distribuição normal, sem “desvios”, evitando críticas pertinentes, esta filosofia de gestão dever-se-ia designar por 4,5 sigma em vez de 6 sigma.

Sem dúvida que, na sua essência, e atendendo ao sucesso alcançado por grandes grupos que adoptaram esta filosofia, a Seis Sigma apresenta vantagens notáveis, devidas ao aumento da fiabilidade dos produtos e dos processos, como se ilustra, a título de exemplo, no quadro 7 [14,15].

Níveis Sigma	
Clássico 3σ	Moderno 6σ
3 motores com defeito por cada lote de 1111 fabricados	3 motores com defeito por cada lote de 882300 fabricados
270 encomendas postais extraviadas por cada lote de 100000 em distribuição	5 encomendas postais extraviadas por cada lote de 1470590 em distribuição
2 horas de interrupção no fornecimento de gás, água ou energia eléctrica em cada mês	18 minutos de interrupção no fornecimento de gás, água ou energia eléctrica em cada 10 anos
2 horas de interrupção no fornecimento de gás, água ou energia eléctrica em cada mês	18 minutos de interrupção no fornecimento de gás, água ou energia eléctrica em cada 10 anos

Quadro 7: Exemplos de comparação do desempenho entre 3σ e 6σ .

6.8. Six Sigma Business Scorecard

Em 2004 Praveen Gupta propôs esta nova filosofia que, na língua portuguesa, se poderá designar como Carta de Registo de Negócios Seis Sigma, 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 [17]. 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 4 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 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, de acordo com Gupta esta filosofia apresenta as seguintes características [17]:

- 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 Gupta [17], 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 fusão 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.

Para se compreender a metodologia de determinação do nível seis sigma deve-se ter em consideração os seguintes passos [15,17]:

- Definição dos indicadores a medir: usualmente utilizam-se os 10 indicadores discriminados no quadro 8, na medida em que reflectem o estado de saúde das organizações.
- 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.
- Definição do desempenho de cada indicador: para cada um dos n indicadores, este desempenho é calculado através do seguinte rácio:

$$D_n = \frac{\text{desempenho obtido} * 100}{\text{desempenho previamente definido}}$$

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

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

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

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

- Determinação do número de DPU: este parâmetro representa, no geral, para os processos produtivos industriais, o número de defeitos por

unidade, enquanto que, para empresas de serviços, será o número de erros ou de falhas por unidade:

$$DPU = \frac{\text{número de erros cometidos}}{\text{número total de unidades produzidas}}$$

Por exemplo, para um departamento de vendas o *número total de unidades produzidas* poderia ser o número de facturas emitidas num determinado período, enquanto que o *número de erros cometidos* corresponderia à totalidade dos dados incorrectamente introduzidos nessas facturas. A partir do valor de IDN, o cálculo de DPU para a *Six Sigma Business Scorecard* é efectuado através da expressão:

$$DPU_B = \frac{IDN}{100}$$

- Determinação do número de DPM: para os processos produtivos industriais, representa o número de defeitos por milhão, enquanto que, para empresas de serviços, será o número de erros ou de falhas por milhão:

$$DPM = \frac{\text{número de erros cometido} * 10^6}{\text{número total de unidades produzidas}}$$

Saliente-se que, na definição de DPM, o denominador surge como 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. No caso de um processo produtivo, é intuitivo que corresponde ao número total de peças fabricadas. Todavia, na situação da *Six Sigma Business Scorecard* as oportunidades de erro correspondem ao número de executivos com poder de decisão, na medida em que as decisões erradas serão da sua exclusiva responsabilidade, tendo-se assim:

$$DPM_B = \frac{DPU_B}{\text{número de executivos com poder de decisão}}$$

- Determinação do nível seis sigma: atendendo à metodologia relativa aos processos produtivos, tem-se:

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

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

$$m = Z_{eq}$$

$$\text{nível seis sigma} = m + 1,5$$

Indicadores Medidos	P _n	D _n	IDNP _n
1. Número de colaboradores de excelência	15	60	9
2. Rentabilidade	15	70	10,5
3. Taxa de melhorias	20	80	16
4. Recomendações por colaborador	10	50	5
5. Rácio gastos totais/volume de vendas	5	60	3
6. Taxa de defeitos dos fornecedores	5	60	3
7. Variância do tempo de ciclo operacional	5	80	4
8. Taxa de defeitos dos processos	5	70	3,5
9. Rácio novos negócios/volume de vendas	10	90	9
10. Satisfação dos clientes	10	80	8
Cálculos			
IDN		71 %	
DPU _B		0,3425	
número de executivos		10	
DPM _B		34250	
A _{eq}		0,03425	
A(Z _{eq})		0,96575	
m		1,82	
nível seis sigma		3,32	

Quadro 8: Exemplo numérico prático de determinação do nível seis sigma para a filosofia *Six Sigma Business Scorecard*.

Da análise dos valores expostos no quadro 8 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 saúde global da organização. A situação ideal corresponde a terem-se todos os indicadores D_n iguais a 100 %, ou seja, um desempenho pleno em todas as vertentes, conduzindo a zero DPM_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 %.

7.FILOSOFIA SIGMA MAGRA

Em 1997 a empresa norte-americana TBM Consulting Group 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.

Sendo uma metodologia tanto para melhoria de eficiência fabril quanto de qualidade, esta filosofia tem ganho grande popularidade. A abordagem que visa ajudar empresas a criar operações fabris mais rápidas e a melhoria de qualidade para 3,4 DPM, tem trazido melhorias significativas e reduções de custos importantes para as empresas.

A Sigma Magra é um programa resultante da integração entre o programa Seis Sigma e a filosofia da Produção Magra, por meio da incorporação dos pontos fortes de cada um deles. É uma estratégia mais abrangente, poderosa e eficaz que cada uma das partes individualmente.

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 23 [18,19,20].

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. Como tal, é vital conjugar as ferramentas de ambas as filosofias de forma a adquirir níveis produtivos de alto desempenho.

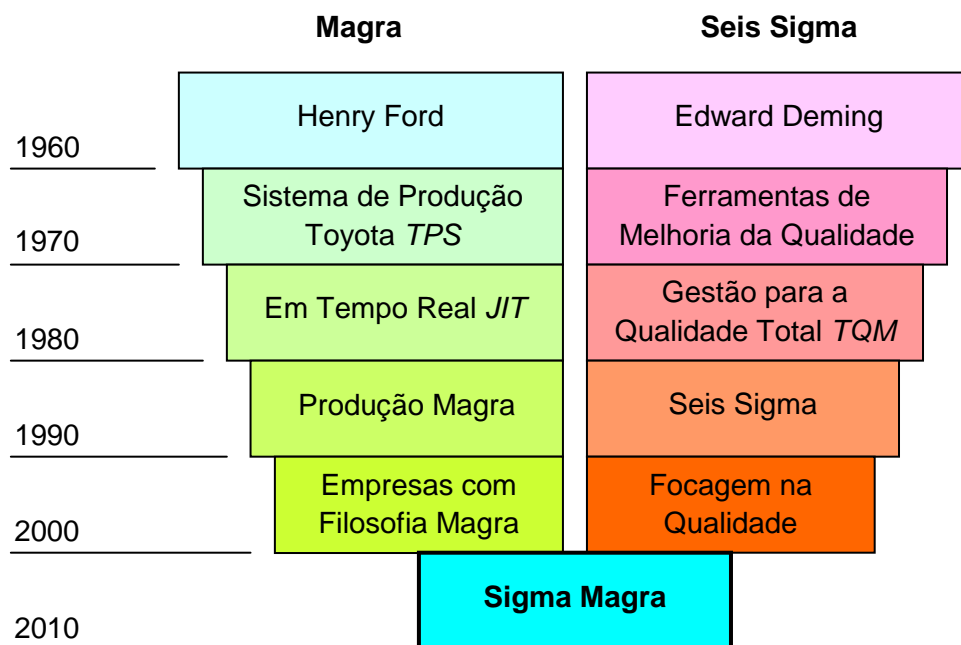


Figura 23: Evolução das filosofias Magra e Seis Sigma.

Saliente-se que a filosofia *Six Sigma* é muito metódica, podendo suceder que a sua completa instalação numa unidade fabril possa demorar algum tempo, entrando em contradição com a cultura *Lean* de velocidade orientada. Como tal, para reduzir esse tempo torna-se necessário implementar uma ferramenta designada por *Sigma Kaizen* (Sigma de Melhoria Contínua), que permite encurtar período em causa, daí que a associação entre a *Sigma* e o *Kaizen* permita reduzir drasticamente a instalação da *Six Sigma* [20].

8.MANUTENÇÃO 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 24).

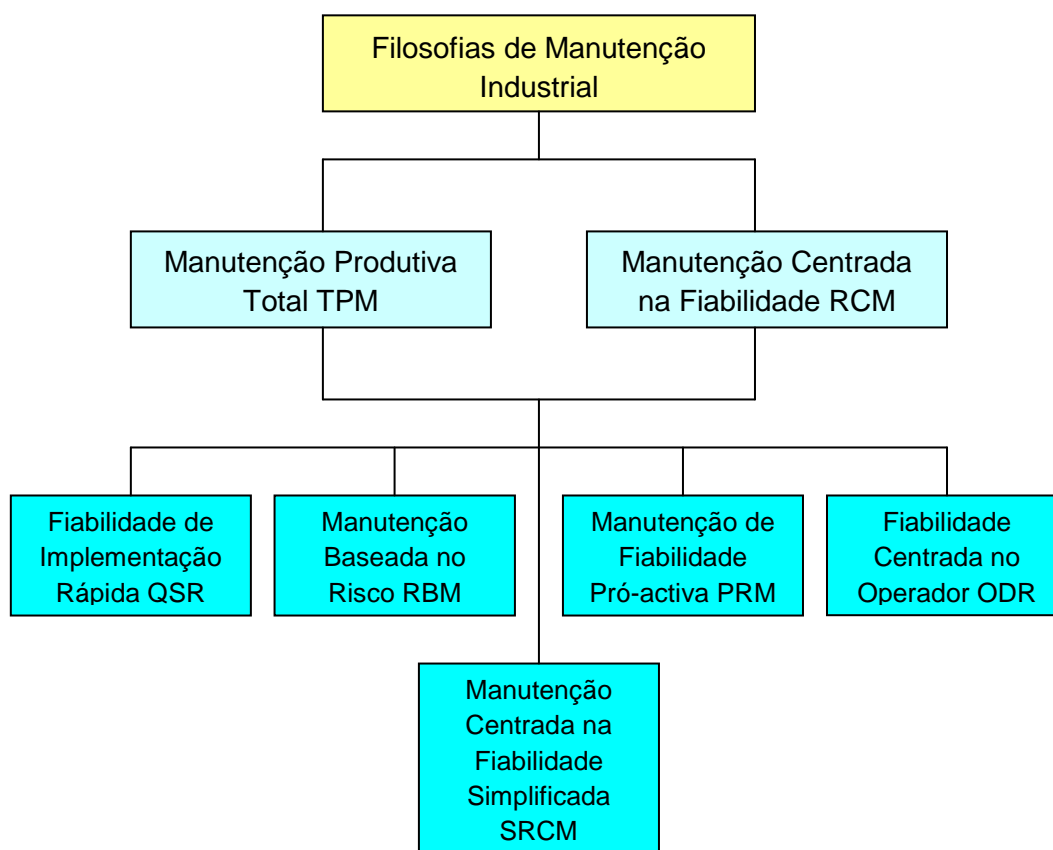


Figura 24: Filosofias (ou modelos) de manutenção industrial.

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 esforços 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.

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, como é o caso, por exemplo, das fracturas graduais dos veios [21].

Conforme já se destacou anteriormente, 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*. 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 [10,11].

Todos estes modelos englobam em si, sem excepção, as várias políticas de manutenção (figura 25), 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*, na medida em que as linhas de produção não poderão estar dependentes de falhas que acontecem aleatoriamente.

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. 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 [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;



Figura 25: Políticas de manutenção industrial.

- **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 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 26.

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.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1. Generalidades

Com a aplicação de uma estrutura de manutenção, procura-se uma redução significativa do número de falhas assim como dos custos directos e indirectos associados às actividades globais de manutenção, a uma redução de compras de emergência, a uma melhoria do nível de conhecimento dos recursos humanos afectos às actividades de manutenção através de formação específica, e a uma redução dos custos de produção devido ao aumento da fiabilidade dos equipamentos. Por outro lado, com o reforço da manutenção autónoma, de carácter preventivo sistemático e condicionado, espera-se que os operadores afectos à produção executem cada vez mais as tarefas básicas de manutenção, e consigam identificar precocemente todos os indícios de anomalias nos equipamentos, cumprindo os procedimentos para a sua correcção, contribuindo assim para o incremento da fiabilidade desses equipamentos.

Após a implementação completa destas propostas, através do conhecimento dos indicadores de desempenho, das características técnicas dos equipamentos, da análise das falhas, do desenvolvimento da metodologia da manutenção e dos seus próprios padrões, esperaram-se os seguintes resultados:

- Melhoria em todo o processo de comunicação, tornando-o mais simples e fazendo com que as decisões e prioridades ocorram com maior rapidez, devido à motivação e autonomia dos envolvidos para tomarem decisões;
- Consolidação da relação entre técnicos de manutenção e operadores da produção;
- Maior participação dos operadores da produção no que se refere à apresentação de sugestões à equipa de manutenção, para melhoria dos equipamentos;
- Maior responsabilidade, por parte dos operadores da produção, em manter os postos de trabalho nas melhores condições, devido à divisão de tarefas e de responsabilidades entre a manutenção e a produção;

- Aumento da motivação de todos os recursos humanos envolvidos e, conseqüentemente, da procura do sucesso pessoal e da equipa, e da valorização profissional.

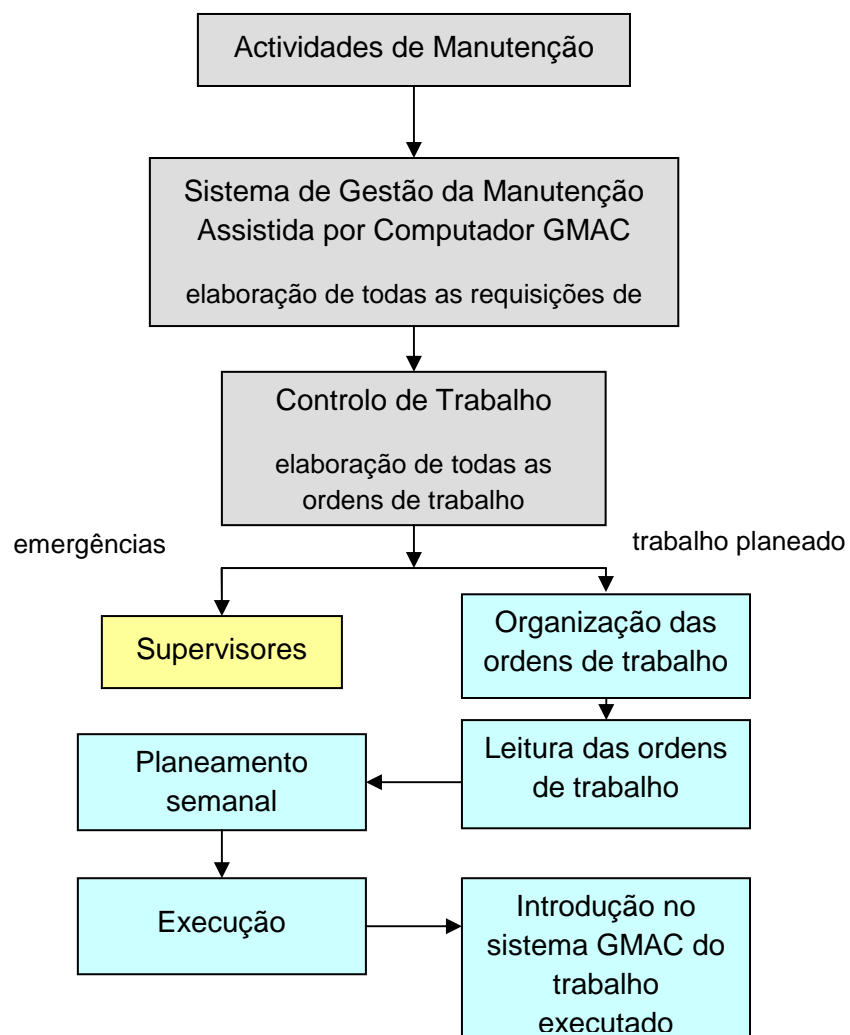


Figura 26: Cadeia de realização de operações de manutenção.

No que respeita à Função Manutenção, pretende-se valorizar as actividades dos operadores dos equipamentos, através do incremento das suas responsabilidades e responsabilização 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 objectivos a contemplar, para a exequibilidade da actividade de manutenção:

- 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:
 - ✓ Eliminação de barreiras,
 - ✓ Fluxo de comunicação mais rápido e transparente,
 - ✓ Nivelamento dos termos técnicos dos equipamentos e dos processos de fabrico,
 - ✓ Gestão transparente das paragens de produção,
 - ✓ Agilidade e rapidez no processo de tomada de decisão,
 - ✓ Valorização dos técnicos de manutenção e dos operadores dos equipamentos de produção,
 - ✓ Desenvolvimento de objectivos e de metas comuns.
- Maior integração dos técnicos de manutenção com os processos da produção, através dos seguintes aspectos:
 - ✓ Maior transparência das necessidades e dificuldades de ambos, técnicos de manutenção e operadores dos equipamentos,
 - ✓ 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,
 - ✓ Maior integração com os problemas técnicos dos equipamentos e instalações,
 - ✓ 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,
 - ✓ 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.

- Maior integração dos operadores da produção com os respectivos equipamentos, através dos seguintes aspectos:
 - ✓ Conhecimento mais detalhado dos equipamentos da produção,
 - ✓ 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,
 - ✓ Maior consciencialização e conseqüente participação nos processos e actividades de manutenção autónoma.
- Maior integração dos técnicos de manutenção com os equipamentos da produção, através dos seguintes aspectos:
 - ✓ Conhecimento da importância dos equipamentos no processo produtivo, além da qualificação recebida para efectuarem os serviços manutenção,
 - ✓ Identificação dos equipamentos críticos relativamente à funcionalidade, manutenibilidade e complexidade tecnológica, propondo melhorias para atingir e garantir os valores previamente definidos para os indicadores MTBM, MTTR, MTBF e disponibilidades operacionais.

9.2.Requisitos das instalações

Tendo em conta os objectivos da manutenção apresentados anteriormente, é necessário ter em consideração também as barreiras que se colocam. Como tal, para a implementação de qualquer metodologia numa organização é de extrema importância considerar as condições vividas, por esta. Sendo assim, apresenta-se seguidamente alguns requisitos de implementação que devem ter-se em conta:

- 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 avarias 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 avarias se minimizassem ou não ocorressem novamente;
- Avaliação e classificação dos equipamentos, para se definir qual o seu nível de prioridade em todo o processo produtivo, tendo por base regras tais como, a legislação em vigor, o meio ambiente, a produtividade, os custos, a qualidade e a segurança. No caso de aquisição de novos equipamentos ou de abatimento de outros, deve-se actualizar de forma contínua esse registo;
- Toda esta informação, isto é, o registo de cada equipamento, a sua importância, e a taxa de avarias, 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 avarias, o MTBF e o MTTR, 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 avarias” 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 aplicação de um sistema de lubrificação, 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.

9.3.Sugestão para trabalhos futuros

Como é confirmado pela prática quotidiana, a elaboração de uma dissertação relativa a um determinado tema de investigação não esgota nem conclui esse tema, e muito menos nas áreas emergentes e em franco

desenvolvimento técnico e científico como o são as filosofias *Lean* e *Sigma*, associadas não só aos processos produtivos mas também à manutenção industrial na sua componente de gestão e organização. O nosso objectivo, ao elaborarmos este trabalho, consiste em contribuir de uma forma modesta com mais um passo na evolução do conhecimento científico e tecnológico nestas áreas. 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, a serem desenvolvidos em estreita cooperação com o tecido industrial:

- Elaboração de modelos de gestão e organização que permitam definir de forma clara e inequívoca todas as metodologias e procedimentos associados às filosofias *Lean* e Seis Sigma.
- Desenvolvimento de “sistemas periciais”, baseados em inteligência artificial e redes neuronais, para diagnóstico e localização de falhas, no caso da *Lean Maintenance*.
- Elaboração de suportes informáticos exclusivamente para o tratamento da informação subjacente a estas filosofias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NETGRÁFICAS

- [1] – C. Varela Pinto, “Organização e Gestão da Manutenção”. Monitor, Lisboa, 2002.
- [2] – 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.
- [3] – Domingos Vieira, “Estudo da Aplicabilidade de um Modelo de Manutenção a uma Empresa Industrial do Sector Metalomecânico”. Idem, ibidem, 2008.
- [4] – Vítor Maia, “Evolução da Função Manutenção numa Empresa Industrial do Sector da Metalomecânica”. Idem, ibidem, 2008.

- [5] – Paulo Serrano, “Manutenção de Fiabilidade Pró-activa: Aplicação a uma Empresa Multinacional do Sector Automóvel”. Idem, ibidem, 2008.
- [6] – Carlos Cabrita, “TPM, Manutenção Produtiva Total, Teoria, Métodos, Indicadores de Desempenho”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2003.
- [7] – Terry Wireman, “Total Productive Maintenance”. Industrial Press, New York, 2008.
- [8] – Carlos Cabrita, “RCM, Manutenção Centrada na Fiabilidade. Teoria, Métodos, Indicadores de Desempenho, Exercícios”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2007.
- [9] – John Moubray, “Reliability-Centered Maintenance”. Industrial Press, New York, 1997.
- [10] – C. Pereira Cabrita, “Manutenção Industrial. Novas Filosofias e Práticas”. Edição do autor, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2006.
- [11] – SKF Reliability Systems, “O Guia para a Optimização da Eficiência dos Activos e Melhoria dos Resultados”. Publicação 5160PT, 2005.
- [12] – John Black, “Lean Production”. Industrial Press, New York, 2008.
- [13] – <http://www.leanthinkingcommunity.org>, 2008.
- [14] – Carlos 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.

- [15] – C. Pereira Cabrita, “Bases Probabilísticas e Estatísticas da Filosofia *Six Sigma*”. Artigo aceite para publicação na Revista *Kéramica*, 2009.
- [16] – Issa Baas, “Six Sigma Statistics with Excel and Minitab”. McGrawHill, New York, 2007.
- [17] – Praveen Gupta, “Six Sigma Business Scorecard. Ensuring Performance for Profit”. McGraw Hill, New York, 2004.
- [18] – TBM Consulting, “Lean Sigma”. <http://www.tbmcg.com/pt/>, 2008.
- [19] – <http://www.aeportugal.pt/>, 2006.
- [20] – <http://pt.kaisen/>, 2008.
- [21] – Joel Levitt, “Lean Maintenance”. Industrial Press, New York, 2008.