

MÉTODO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD) PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS NA GESTÃO PREVENTIVA DE EQUIPAMENTOS EM UM SISTEMA DE MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL (WCM)



Leonel Del Rey de Melo Filho (UFMG)

leoneldrmf@yahoo.com.br

Rafael Piazzini Brunelli (UFMG)

rpiazzi@gmail.com

Lin Chih Cheng (UFMG)

lincheng@dep.ufmg.br

Este artigo apresenta uma aplicação do método QFD como suporte à tomada de decisão para seleção de equipamentos. Realizou-se uma intervenção em uma empresa do setor automobilístico no momento de implantação do pilar Gestão Preventiva de Equipamentos (GPE) do sistema WCM. A estratégia de pesquisa adotada foi a de pesquisa-ação. Desenvolveu-se uma estrutura de trabalho de três etapas, alinhamento estratégico, formulação do modelo conceitual e análise de resultados para decisão. O procedimento mostrou ser superior ao do utilizado anteriormente pela empresa, pois permitiu uma melhor explicitação da relação de causa-efeito na seleção de um equipamento em detrimento de outros principalmente em função das exigências dos clientes internos - tornando o processo mais explícito e objetivo.

Palavras-chaves: QFD, Modelo Conceitual, seleção de equipamentos, WCM

1. Introdução

Manufatura de Classe Mundial ou *World Class Manufacturing* (WCM) pode ser visto como um Sistema de Gestão Industrial que integra de forma articulada filosofias gerenciais de *Total Quality Management* (TQM), *Total Productive Maintenance* (TPM) e *Just-in-time* (JIT), catalisadas por *Kaizen* (filosofia de melhoria contínua), construídas em cima de conceitos, métodos e técnicas conhecidas, como Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Controle Estatístico de Processo, Ciclo de *Plan-Do-Check-Action* (PDCA), dentre outros (Yamashina, 2000). Com o propósito de caminhar na direção de WCM, algumas organizações estratificam o sistema em pilares, divididos em técnicos e gerenciais. O relato do presente artigo identifica com um dos pilares técnicos, a Gestão Preventiva de Equipamentos (GPE). GPE é normalmente considerado nas empresas como de responsabilidade da área de engenharia de manufatura.

O objetivo geral da GPE pode ser visto como selecionar, operar e manter máquinas e equipamentos de tal forma que facilite a manufatura e prolongue a vida útil destes com menor custo. O pressuposto embutido é o princípio da resolução antecipada de problemas, resultando na elevação do nível de desempenho operacional destes. Outro importante princípio é o aprendizado contínuo, isto é, o aprendizado em equipamentos anteriores deve ser transferido para um projeto novo de linha de produção. O conhecimento acumulado sobre as máquinas atuais deve constituir uma base de conhecimento a ser consultada no processo de aquisição e desenvolvimento de novos equipamentos para resolver os problemas de forma antecipada, antes de iniciar a manufatura, diminuir ao mínimo o período de treinamento, assim verticalizando a curva de crescimento produtivo.

Para aplicação do pilar GPE é importante a participação entre quem projeta os equipamentos, quem projeta o produto a ser fabricado, quem opera a produção e em especial, o pessoal da manutenção. O conhecimento de todos os envolvidos deve ser considerado durante as etapas do projeto para que forneçam como resultado máquinas capazes de garantir: I - qualidade elevada do produto; II - custo mínimo; III - menor tempo de projeto; IV - mais flexibilidade; V - maior segurança e facilidade das operações de gestão; e VI - elevada confiabilidade e facilidade de manutenção.

Um método que permite auxiliar na solução antecipada de problemas e que busca a participação multifuncional nas organizações é o método QFD (CHENG; MELO FILHO, 2007). Há um número muito pequeno de publicações de QFD aplicado à seleção de equipamentos, e nenhum deles no ambiente de WCM, sob o pilar de GPE. O objetivo deste artigo, portanto, é apresentar um caso de aplicação do método QFD no processo de seleção de equipamentos, em especial a tarefa de comparar tecnicamente os equipamentos, no pilar GPE do WCM em uma empresa que desenvolve e produz motores para montadoras do setor automobilístico. Esta empresa utilizava um procedimento de seleção anterior, e o procedimento com QFD permitiu melhorá-lo, tornando-o mais explícito e objetivo.

2. O método QFD

O *Quality Function Deployment* (QFD) ou Desdobramento da Função Qualidade foi concebido no Japão, no final da década de 60, como uma ferramenta para garantia da qualidade no desenvolvimento de novos produtos (AKAO, 2003, 1996) cujo foco é o atendimento das necessidades do cliente por meio da organização sistemática de informação e trabalho (CHENG; MELO FILHO, 2007). Diversas aplicações e adaptações desse método vêm sendo

realizadas no Brasil e no mundo (CAUCHICK MIGUEL; CARPINETTI, 2009) em diferentes contextos, principalmente industriais.

De acordo com as características metodológicas do QFD, esse método se fundamenta na lógica de estruturação e raciocínio de pessoas com diferentes formações, sejam elas: engenharia, marketing, produção, dentre outras. O Modelo Conceitual é uma maneira de se modelar uma estrutura, a qual permite visualização, e sobre a qual pessoas irão debater, baseadas em seus conhecimentos e experiências, sobre a melhor forma de tratamento da informação (CHENG, 2003).

O método tem sido utilizado em diferentes tipos de aplicação como: desenvolvimento de novo produto; re-projeto de um produto existente; preparação para produção; auxílio no gerenciamento da rotina do dia-a-dia, melhoria do controle; e na escolha de equipamentos e tecnologias durante o desenvolvimento de produtos, dentre outros (CHENG; MELO FILHO, 2007). São apresentadas adiante algumas referências da utilização do método QFD para solução de problemas relacionados à seleção de tecnologias de fabricação.

Almannai *et al.* (2008) apresentou um caso em que se utilizou o QFD para escolha de tecnologia de automação industrial, que foi dividido em três estágios. No primeiro foi realizado um alinhamento entre as necessidades dos atores da situação (em três níveis: estratégico, tático e operacional) e os critérios os quais seriam utilizados para avaliar a opção de tecnologia. Estes dois grupos formaram a primeira matriz do QFD. A tabela dos critérios foi desdobrada em um segundo nível em sub-critérios os quais foram correlacionados com opções tecnológicas, que formaram a segunda matriz do QFD. Por fim, no terceiro estágio a opção de melhor desempenho tem seus sub-critérios técnicos avaliados em função dos potenciais problemas com auxílio da ferramenta FMEA.

Chakraborty & Dey (2007) propõem um sistema para seleção de processos não-tradicionais de usinagem (processos esses que utilizam, em detrimento de ferramentas de corte, fontes energéticas do tipo: mecânica, termoelétrica, eletromecânica ou química). Basicamente, o modelo proposto consiste em priorizar as características projetadas do produto em uma tabela e, em seguida, estabelecer correlação entre essas características e as do processo em avaliação. Matrizes desse tipo são elaboradas para cada processo em separado e, ao final, é realizada a comparação entre as opções por meio da análise do desempenho global e de gráficos exibindo o desempenho dessas opções.

Uma aplicação do método QFD para avaliação e seleção de tecnologias de manufatura é relatada por Carvalho & Cheng (1998). Nesse trabalho é apresentado um modelo conceitual de QFD em que é avaliado o impacto da tecnologia dos equipamentos nas características de qualidade do produto. As funções dos equipamentos são extraídas da Tabela de Características de Qualidade do Produto Intermediário e, em seguida, correlacionadas com as alternativas de equipamentos. O resultado final das correlações é dividido em três dimensões da qualidade: qualidade intrínseca, fator custo e fator entrega; além da divisão em prioridades, ou seja, é destacado o desempenho dos equipamentos em relação às funções priorizadas como “peso 5” e “peso 4”. O rendimento global também é considerado para a decisão final - a escolha da tecnologia mais adequada ao processo de fabricação. Uma vez escolhido o equipamento, são definidas as variáveis – ou parâmetros de controle – as quais devem ser controladas para garantir a qualidade do produto.

O procedimento de seleção de equipamentos apresentado neste artigo possui diferenças e similaridades em relação aos procedimentos adotados pelos casos revisados e estão destacados na Tabela I.

| | Similaridades | Diferenças (utilizado no procedimento apresentado e não nos contidos na revisão teórica) |
|-------------------------------|--|---|
| Almannai <i>et al.</i> (2008) | Foram levantadas as necessidades dos <i>stakeholders</i> | As necessidades dos <i>stakeholders</i> foram divididas em 6 dimensões Utilizaram-se as tabelas de características dos equipamentos e a dos serviços prestados pelos fornecedores separadamente para escolha dos equipamentos |
| Chakraborty & Dey (2007) | Foi utilizada a tabela de qualidade exigida do produto como critério para seleção | Utilizou-se 6 tabelas de necessidades como critérios para seleção |
| Carvalho & Cheng (1998) | Foram utilizadas as tabelas de qualidade intrínseca do produto e fator custo como critérios para seleção | Não se utilizou a tabela de entrega para seleção, mas esta poderia ser similar a duas utilizadas: necessidades quanto à produtividade e serviços. Utilizaram-se também as tabelas: segurança, meio ambiente e energia; e desenvolvimento pessoal Utilizaram-se as tabelas de características dos equipamentos e a dos serviços prestados pelos fornecedores separadamente para escolha dos equipamentos e não uma tabela de funções dos equipamentos |

Tabela I - Similaridades e diferenças entre o procedimento relatado neste artigo e os casos revisados

3. Metodologia

A estratégia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento deste projeto foi a Pesquisa-ação. Relatam-se aplicações dessa estratégia, desde a criação do método QFD, como sendo um meio pelo qual se reforçam teoria e prática num ciclo contínuo (CHENG; MELO FILHO, 2007). Com auxílio do pesquisador como um indutor, interagindo com os atores da situação, busca-se a capacitação da equipe participante e estímulo ao acúmulo de conhecimento, a resolução de uma situação problema e ao mesmo tempo a contribuição para refinamento de bases teóricas (THIOLLENT, 1996; SUSMAN; EVERED, 1978).

O tempo total de duração desta intervenção foi um ano e seis meses, sendo o início em agosto de 2006 e término em dezembro de 2008. O projeto foi dividido em duas fases, em que a primeira, Projeto Piloto, teve duração de dois meses e se executaram as seguintes atividades: A – análise do procedimento atual de comparação técnica entre opções de equipamentos e critérios utilizados para tomada de decisão; B – levantamento e análise das possíveis melhorias desse procedimento; C – revisão teórica sobre o processo de seleção de equipamentos com o método QFD; D – definição dos pontos de melhorias do procedimento atual em que o QFD poderia auxiliar; E – desenvolvimento de uma estrutura de trabalho com o modelo conceitual do QFD que poderia melhorar o procedimento utilizado até então; e F – validação do procedimento proposto em um caso.

Nessa fase a equipe de trabalho externo à empresa era composta por cinco pessoas, três mestres em Engenharia de Produção e dois graduandos do curso de graduação em Engenharia de Produção. O líder do projeto, responsável pela gestão e orientação técnica no uso do QFD, dedicou vinte horas semanais. Já os outros membros auxiliaram na análise do procedimento de seleção utilizado pela empresa e na obtenção de informações para o novo procedimento, com dedicação de oito horas semanais. O grupo da empresa era formado por três pessoas: Gerente de Manufatura, Coordenador de Métodos de Gestão e Técnico responsável por selecionar e gerir equipamentos. Este último teve participação mais intensiva, colaborando com dezesseis horas semanais. Os dois anteriores participaram de três reuniões, uma no início, uma após um mês de trabalho e uma última no final. O objetivo desta reunião era avaliar o andamento do projeto, conteúdo construído e contribuir com melhorias ao processo de seleção. Outras pessoas de áreas funcionais da empresa como produção, manutenção, suporte técnico, segurança, meio ambiente, recursos humanos, dentre outras, também participaram em momentos específicos.

A segunda fase, Operacionalização, teve duração de um ano e quatro meses. As atividades realizadas foram: A – desenvolvimento de padrões que permitissem a disseminação do processo pela área - Padrão Operacional do Processo de Confronto Técnico com o Método QFD e Fluxograma do Processo de Confronto com o Método QFD; B – treinamento dos técnicos responsáveis pela seleção, um total de 21 pessoas; C – customização do conteúdo do procedimento que resultou em conteúdos padrões para cada classe de equipamento, como Usinagem, Montagem, Calibre (inspeção), Tratamento Térmico, Lavadora e Conformação; D – aplicação do procedimento em outros processos de seleção, que somou um total de doze até a finalização da intervenção.

A equipe de estudo nessa segunda fase teve participação de duas pessoas. Ambos auxiliaram no desenvolvimento dos padrões, treinamento, customização e aplicação do processo. A equipe da empresa foi composta pelo Gerente da área e outros 21 técnicos.

4. Procedimento de seleção de equipamentos anterior à intervenção

No procedimento de seleção de equipamentos praticado pela empresa anterior à intervenção, em especial a atividade de comparação técnica entre os equipamentos, chamada pela empresa de confronto técnico, utilizava-se uma planilha conforme a representada na Tabela II.

| FORNECEDOR EQUIPAMENTO 1 | EQUIP 1 | | EQUIP 2 | | EQUIP 3 | |
|---|---------|------------|---------|--------|---------|--------|
| CARACTERÍSTICAS | | | | | | |
| PREDISPOSIÇÃO PARA CORTE A UMIDO - DETALHAR | NÃO | 2 | SM | 1 | | 1 |
| CAPACIDADE PRODUTIVA | | | | | | |
| TEMPO MAQUINA - min. | 0,76 | | 0,66 | | 0,71 | |
| DADOS DA MÁQUINA | | | | | | |
| MODULO USINAVEL MAX. (2,75) | 6 | 2 | 7 | 2 | 8 | 1 |
| DIAMETRO USINAVEL C/ CARREG. AUTOM. MAX. mm. (nec. 185,00 mm) | 300 | 1 | 200 | 2 | 300 | 1 |
| Nº DE GIROS DO CRIADOR g/mín. | 900 | 2 | 1200 | 1 | 75 -750 | 2 |
| Nº DE GIROS DA MESA g/mín. | 150 | 1 | 100 | 2 | 60 | 2 |
| PESO TOTAL DA MAQUINA KG. | 12000 | 6 | 15000 | 1 | 10000 | 2 |
| DADOS GERAIS | | | | | | |
| PRAZO ENTREGA - meses | 8 | 1 | 14 | 2 | 8 | 1 |
| GARANTIA - meses | 12 | | 12 | | 12 | |
| AValiação Técnica | | 15 | | 11 | | 10 |
| APTO PARA FORNECIMENTO | | NÃO ACEITO | | ACEITO | | ACEITO |

Tabela II – Planilha de confronto técnico anterior à intervenção (representação resumida)

Nas linhas à esquerda eram listadas as características técnicas e de serviço que deveriam ser atendidas. No cabeçalho das colunas listavam-se os equipamentos para comparação. Cada equipamento recebia o valor respectivo quanto a sua caracterização no meio da tabela, parte esquerda da caracterização do equipamento. Em função de uma comparação entre os itens dos equipamentos esse poderia receber um demérito em uma escala: “1” (pouco demérito), “2” (demérito) ou “6” (muito demérito). Ver coluna direita de cada equipamento Tabela II. No cômputo geral, os deméritos são somados. Os critérios para o demérito correspondiam ao conhecimento tácito do responsável pela seleção que os explicitavam por meio de anotação na planilha. Os fornecedores dos equipamentos eram informados dos deméritos e uma chance de correção era dada. Se a oferta fosse alterada, o valor do demérito podia ser conseqüentemente alterado. Este processo tinha um período de duração. Baseado nas somas dos deméritos (parte inferior da Tabela II) tomava-se decisão quanto: aceitação completa do equipamento; aceitação com ressalvas ou não aceitação.

Este processo era de responsabilidade de um técnico, e no momento da tomada de decisão ocorria participação de gestores do setor. As principais limitações observadas pela equipe de trabalho em relação a esse procedimento foram: não permite a identificação (explicitação) das reais necessidades dos clientes internos, produção, manutenção e outros quanto ao equipamento; falta de padronização das características dos equipamentos (peso, tempo ciclo, mecanismos, etc) e serviços de fornecimento (treinamento, assistência técnica, etc); utilização de uma mesma planilha para características dos equipamentos e serviços (treinamento, assistência técnica, etc); critérios utilizados para tomadas de decisão, deméritos, favorecia uma tomada de decisão considerada muito subjetiva, pois se baseava no conhecimento tácito dos responsáveis finais pela seleção; não estimulava a participação de outras áreas funcionais no momento da seleção; ausência de padronização e registro histórico que pudesse auxiliar em treinamentos e aquisições futuras.

5. Aplicação e resultados

A estrutura de trabalho desenvolvida do procedimento de confronto técnico com o método QFD para auxiliar a seleção de equipamentos na GPE é apresentado na Figura 1.

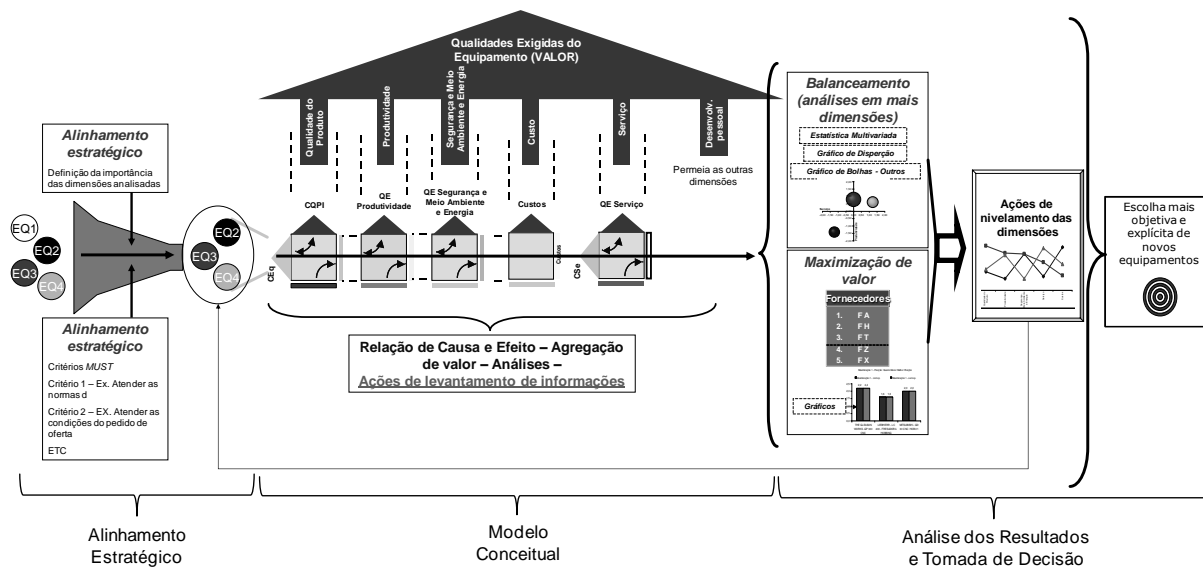


Figura 1 – Framework do modelo de QFD para seleção de equipamentos

Esta estrutura fez parte do Padrão Operacional elaborado e teve objetivos de permitir uma visualização de todo processo de confronto técnico e disseminação do conhecimento por meio de treinamentos. Este foi dividido em três macro-etapas: Alinhamento Estratégico, Formulação do Modelo Conceitual e Análise dos Resultados e Tomada de Decisão.

5.1 Alinhamento Estratégico

Na primeira macro-etapa (ver Figura 1) avaliam-se as propostas de equipamentos quanto a critérios básicos (*MUST*), compulsórios, definidos para cada processo de seleção, exemplos seriam o tempo mínimo permitido para fabricação de uma peça ou atendimento de uma norma de segurança. No processo anterior estes critérios eram colocados na tabela de confronto técnico junto com os outros. O objetivo desta macro-etapa é a economia de tempo, pois se a oferta de equipamento não atendesse estes requisitos não era analisada no confronto. O resultado esperado desta macro-etapa são as ofertas de equipamentos aprovadas para avaliação no confronto técnico por meio do Modelo Conceitual do QFD.

5.2 Formulação do Modelo Conceitual

Desenvolveu-se o modelo conceitual (segunda macro-etapa) em função da relação de causa-e-efeito dos fatores contribuintes para escolha dos equipamentos (ver Figura 1). A tabela de qualidade exigida (QE), chamada também de valor, foi dividida em seis dimensões: I- Característica de Qualidade do Produto a ser fabricado (nesse caso Características de Qualidade do Produto Intermediário (CQPI); II- QE Produtividade; III- QE Segurança, Meio Ambiente e Energia; IV- Custos; V- QE Serviços; e VI- QE Desenvolvimento de Pessoal. Essa última permeava as demais, assim se suprimiu sua análise individual. Foram utilizadas cinco tabelas de QEs. Para levantamento das necessidades dos *stakeholders* e subsequente preenchimento das tabelas de QE utilizou-se primeiramente a tabela de confronto técnico anterior (Tabela II), e realizou-se uma extração inversa com as seguintes perguntas (CHENG; MELO FILHO, 2007): “Quem são os interessados nas características técnicas e de serviços de um equipamento?” e “Quais seriam as suas necessidades?”. Os interessados pertenciam a quais áreas (produção; manutenção; qualidade; engenharia do produto; suporte técnico; custos; estratégia e análise de investimentos; segurança e vetores energéticos; meio ambiente e RH). Realizou-se, então, uma pesquisa interna, semi-estruturada, exploratória, para obtenção de suas necessidades. A Tabela III mostra a Tabela de QE de Produtividade.

| | | Qualidade Exigida Produtividade | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------------------|---|----------------------|--------------|--|---|--|---|---|------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Nível 1 | Manter boa produtividade (restrita) | Manter boa produtividade (restrita) | | Boa robustez | Boa robustez | | | Facilidade de manutenção | Facilidade de manutenção | | | Garantir uma confiabilidade adequada | Ter boa flexibilidade | Facil de operar |
| Nível 2 | | Capacidade produtiva adequada e baixo tempo de produção | Baixo tempo de SETUP | | Manter condições normais de funcionamento com o passar do tempo de uso | Possuir pontos de fixação e apertos adequados | Layout adequado | | Melhor adequação a TPM | | | | | |
| | | | | | | | Facilidade de manutenção mecânica, elétrica, hidráulica e exaustão | Possuir elementos que contribuam a uma eficiente manutenção | Possuir uma boa documentação que auxilie a manutenção | Manter baixo tempo médio de reparo | | | | |

Tabela III – Exemplo de tabela de qualidade exigida - produtividade.

As tabelas de QE foram desdobradas em vários níveis, mas para correlação com os itens dos equipamentos utilizou-se apenas o nível 1 (menos desdobrado). Boa Robustez e Facilidade de Manutenção são QE de primeiro nível apresentadas na Tabela III. Restringiu-se os itens de QE entre as dimensões próximo ao valor de vinte, para efeito de facilidade de análise (AKAO, 1996). Estas tabelas de QE não existiam no procedimento anterior.

Os itens de qualidades exigidas foram priorizados em graus de importância (GI) por meio de entrevistas semi-estruturadas e reuniões realizadas com os interessados das áreas funcionais. A importância foi atribuída ao primeiro nível das tabelas. Chegou-se ao consenso de que o critério para definição dos GI para os itens da CQPI seria por meio do coeficiente de prioridade de risco do FMEA de produto, sendo “1” atribuído às necessidades classificadas como importantes, “2” às muito importantes, e “3” às de máxima importância. Para priorização dos itens das outras tabelas utilizou-se a técnica de priorização GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), sendo definido no final um GI análogo ao anterior (1, 2 ou 3). Estes pesos foram considerados de uso padrão, mas poderiam ser alterados em função de processo de seleção particular.

As características dos equipamentos foram divididas em duas tabelas, uma para as

Características Técnicas dos Equipamentos (CTE) e outra para as Características dos Serviços (CS). Os itens de ambas as tabelas foram desdobrados em três ou mais níveis. As tabelas formadas pelos dois primeiros níveis, e pelo terceiro em alguns quesitos, foram padronizadas para cada classe de equipamentos e chamadas de módulos, classificados como: Módulo de Usinagem; Módulo de Tratamento Térmico, dentre outros. A Figura 2 mostra as tabelas de CTE para os módulos de usinagem e tratamento térmico.

| Ciclo de trabalho - logística | | |
|---|--|--------------------------------------|
| Capacidade produtiva | Tempo de ciclo | |
| | Tempo de set-up | |
| | Itens específicos para confiabilidade da máquina | |
| Itens específicos para garantia da qualidade do produto | | |
| Parâmetros de usinagem | | |
| Dinâmica da máquina | Dinâmica da mesa | |
| | Dinâmica do cabeçote (Fuso) | |
| | Dinâmica do criador | |
| | Motorização | |
| Mecânica | Características físicas da máquina | |
| | Fixação / máquina e peça | |
| | Sistema de carga e descarga/automação | |
| | Ferramenta | Características físicas - ferramenta |
| | | Custo da ferramenta |
| | Magazine porta ferramenta | |
| | Sistema de refrigeração | |
| | Características da unidade hidráulica e lubrificação | |
| Termodinâmica da máquina | | |
| Eletro-eletrônica | Características do sistema de alimentação | |
| | Características do sistema de comando numérico | |
| | Características do PLC | |
| | Características específicas de segurança | |
| Processos adicionais | | |

| Ciclo de trabalho | |
|---|--|
| Capacidade produtiva | Tempo de ciclo |
| | Tempo de set-up |
| | Flexibilidade |
| | Itens específicos para confiabilidade da máquina |
| Características do Sistema Térmico | Sistema de aquecimento |
| | Sistema de resfriamento |
| Itens específicos para garantia da qualidade do produto | |
| Parâmetros de tratamento térmico | |
| Dinâmica da máquina | Movimentação interna da peça |
| | Características físicas da máquina |
| Mecânica | Fixação: máquina e peça |
| | Sistema de carga e descarga/automação |
| | Sistema de refrigeração da máquina |
| | Características da unidade hidráulica e lubrificação |
| | Termodinâmica da máquina |
| Eletro-eletrônica | Características do sistema de alimentação |
| | Características do sistema de comando numérico |
| | Características do PLC |
| Sistema de monitoramento | |
| Características específicas de segurança | |
| Processos adicionais | |

Figura 2 – Exemplo de Tabelas de Características Técnicas dos Equipamentos em formato de módulos.

O desdobramento dos níveis dos módulos para terceiros ou quarto níveis é definido em função de cada processo específico. A Figura 3 mostra um exemplo de desdobramento dos itens de um módulo para um processo de confronto qualquer.

| | | | |
|----------------------|---|---|--------|
| Capacidade produtiva | Tempo de ciclo | | |
| | | TEMPO MÁQUINA - min. | |
| | | TEMPO PASSIVO + CARGA / DESCARGA - min. | |
| | | TEMPO CICLO TOTAL - min. | |
| | | Produção horária 100% - peças/hora | |
| | | % DE UTILIZAÇÃO DA MÁQUINA | |
| | | Produção horária % UT - Fornecedor | |
| | Tempo de set-up | | |
| | Itens específicos para confiabilidade da máquina | | |
| | Itens específicos para garantia da qualidade do produto | | |
| Dinâmica da máquina | Parâmetros de usinagem | | |
| | Dinâmica da mesa | | |
| | | Nº de giros da mesa | g/min. |
| | | Tipo/potência motor rotação mesa | |
| | | Dinâmica do cabeçote | |
| | | Dinâmica do criador | |
| | Motorização | | |

Figura 3 – Exemplo de CTE para um caso de seleção de um equipamento de usinagem.

Os itens dos módulos é que são correlacionados com os itens das QE. A quantidade destes itens está em torno de 20 conforme motivo exposto anteriormente.

No procedimento de seleção anterior os itens de CTE e CS eram dispostos em uma mesma tabela, e não estavam padronizados para classes de equipamentos.

Pela relação de causa-e-efeito, são formados dois conjuntos de matrizes (ver Figura 1). O primeiro é formado pelas tabelas de CTE relacionadas com as tabelas de QE (CQPI; Produtividade; Segurança, Meio Ambiente e Energia; e Custos), num total de quatro matrizes. No entanto, realiza-se em um mesmo plano (planilha eletrônica), o que forma uma matriz, CTE versus QE (as quatro dimensões anteriores em um mesmo plano de análise), que possui

um tamanho médio de 22 (CTE) por 19 (QE) itens de correlação. O segundo conjunto é formado pelas Tabelas de CS relacionada com as QE: Serviços e Custos (duas matrizes). Essa análise também é realizada em um mesmo plano, o que forma uma matriz de 8 (CS) por 6 (QE Serviço e Custo).

Para preparação do confronto com o QFD as especificações eram adicionadas aos itens dos módulos das CTE e CS (Figura 3). Após alinhamento estratégico foram definidos os equipamentos do confronto e adicionavam-se às tabelas anteriores, os valores específicos para cada item (Figura 4). Para cada interseção nas matrizes (ex. item do módulo X item de QE), adiciona um campo de correlação para cada equipamento, ou seja, cada equipamento é avaliado individualmente em cada correlação e posteriormente seus valores são comparados (Figura 4).

Para essas correlações, CTE x QEs, utilizou-se a pergunta: “Quanto valor os itens X de CTE agregaria para atender ao item Y de QE ao longo do tempo?”. De forma análoga é realizada a correlação na matriz CS x QEs. A intensidade da correlação pode ser correspondente a: “-3” (desagrega valor ao item exigido), “0” (indiferente ao item exigido), “1” (agrega valor ao item exigido) e “3” (agrega muito valor ao item exigido). Vale ressaltar que a correlação é realizada entre o item módulo da CTE (primeiro nível de desdobramento) e o primeiro nível de desdobramento da respectiva QE (Figura 4).

A Figura 4 representa uma Matriz CTE x QE Produtividade, para um processo de seleção. A intensidade da correlação entre o item “Tempo de ciclo”, do módulo, e a necessidade “Manter boa produtividade (restrita)” da tabela QE Produtividade foi determinada como “1”, “3” e “1” em relação aos equipamentos “A”, “B” e “C”, respectivamente.

| CTE | | Equipamentos | | | QEs | | | | | | Pesos Absolutos | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--------------------------|------|------|-------------------------------------|---|--------------|---|--------------------------|---|--------------------------------------|----|-----------------------|---|-----------------|---|---|----|----|---|
| | | A | B | C | Qualidade Exigida Produtividade | | | | | | Produtividade | | | | | | | | | |
| | | A | B | C | Manter boa produtividade (restrita) | | Boa robustez | | Facilidade de manutenção | | Garantir uma confiabilidade adequada | | Ter boa flexibilidade | | Fácil de operar | | A | B | C | |
| Capacidade produtiva | Ciclo de trabalho - logística | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tempo de ciclo | | | | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 5 | 11 | 17 | |
| | TEMPO MAQUINA - min. | 0,76 | 0,66 | 0,71 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | |
| | TEMPO PASSIVO + CARGA / | 0,19 | 0,22 | 0,25 | | | | | | | | | | | | | 5 | 11 | 5 | |
| | Tempo de set-up | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Itens específicos para confiabilidade da | | | | | | | 3 | 3 | 3 | -3 | -3 | 3 | | | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Grau de Importância (GI) | | | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |

Figura 4 – Matriz CTQ x QE - Produtividade

O cálculo dos Pesos Absolutos é realizado pela conversão dos GI dos itens de qualidade exigida: multiplica-se os GI dos itens de QE e os valores correspondentes em coluna de correlação com o item de CTE. Os resultados destas multiplicações em coluna são somados em linha gerando o peso absoluto do módulo para cada equipamento que é analisado separadamente (“A”, “B” e “C”). Para maiores detalhes deste processo, ver Cheng & Melo Filho (2007). Posteriormente, os pesos absolutos são somados em coluna originando o peso final de cada equipamento com relação à dimensão de análise. A saída desta etapa são os Pesos Absolutos Finais relativos a cada dimensão de QE analisadas.

No processo de seleção anterior o motivo de demérito de um equipamento não estava explícito. No processo melhorado com o QFD o mérito e o demérito se tornam explícito, pois a relação entre o item técnico com o item de QE se torna mais explícito por meio das correlações.

5.3 Análise dos Resultados e Tomada de Decisão

Por fim realiza-se a Análise dos Resultados e Tomada de Decisão (macro-etapa 3). Os resultados finais do processo de seleção, pesos das dimensões de QE são agrupados em uma planilha conforme apresentado na Figura 5. Estas pontuações buscam o critério do “quanto maior melhor”. Para a dimensão de custos utilizou-se um ajuste para esta comparação: quanto menor o custo maior a pontuação.

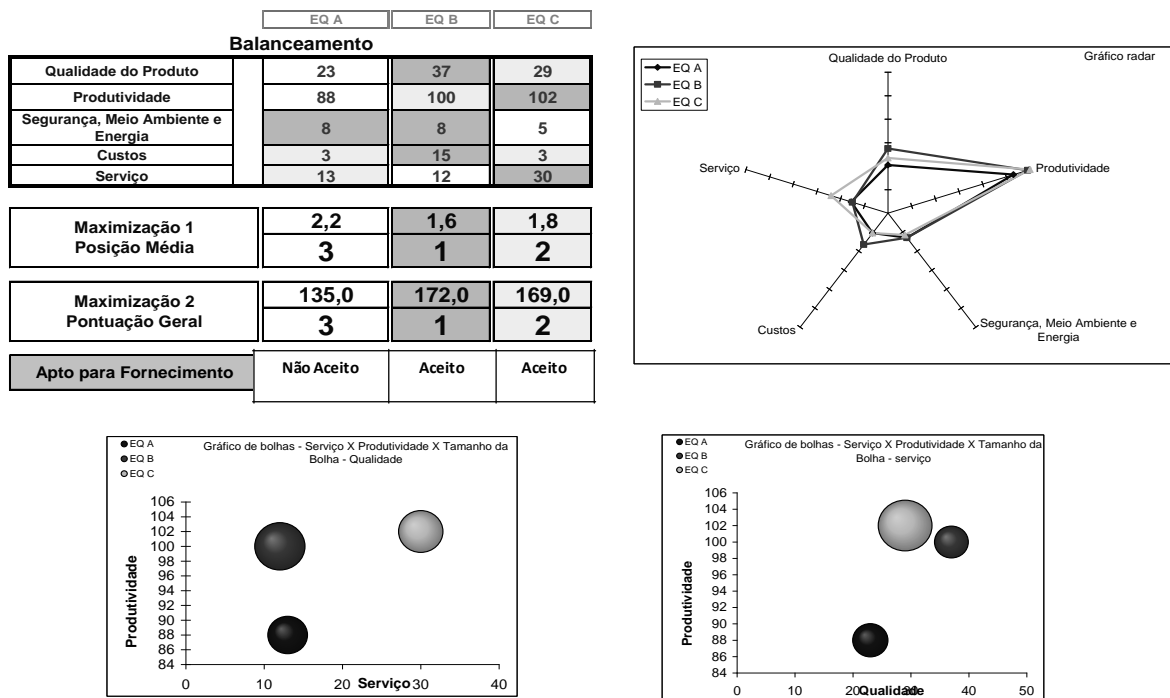


Figura 5 – Apresentação dos Resultados do Modelo Conceitual Agrupados

A priorização geral, chamada de maximização, foi realizada de duas maneiras. Na primeira atribui-se uma ordenação (primeiro: “1”, segundo: “2”, terceiro: “3”) com relação à pontuação obtida por cada equipamento em cada dimensão de QE. Este posicionamento era somado para cada equipamento, e daí realizava-se uma média aritmética. Esta maneira permite trazer as dimensões distintas, Qualidade do Produto, Produtividade, Custos etc, para uma mesma dimensão, a de posicionamento. Neste caso, quanto menor, melhor, pois quanto mais próximo de “1” (primeiro) melhor (ver Cooper et. al. 1997). A segunda maneira de análise de maximização é obtida simplesmente pela soma dos valores das dimensões. Estas duas maneiras fornecem informações que auxiliam a tomada de decisão.

Utilizam-se os gráficos de bolhas e de radar construídos com os resultados das dimensões para cada equipamento como auxiliares na comparação entre esses equipamentos em mais de uma dimensão. Estes gráficos permitiram visualizar melhor a diferença entre os equipamentos.

Ao longo do tempo estabelecido para duração do processo de seleção, os resultados finais

podem sofrer melhorias. De acordo com a necessidade de cada caso, é possível solicitar aos fornecedores que modifiquem certas características de suas ofertas, como, por exemplo: acréscimo de itens opcionais, modificação da motorização da máquina, alteração do prazo de entrega e validade da garantia. Quando estas modificações são realizadas geram alteração positiva ou negativa (geralmente a primeira) das correlações, assim alterando os Pesos Absolutos. Essa atividade é chamada de Ações de Nivelamento das Dimensões (AND) e pode ocorrer em um fluxo contínuo (ver seta que retorna da Análise dos Resultados e Tomada de Decisão para o Modelo Conceitual na Figura 1) durante um período pré-estabelecido. O principal propósito é permitir que as ofertas dos fornecedores sejam equilibradas entre si.

Por fim em função dos resultados apresentados decide-se sobre: aceitação completa do equipamento; aceitação com ressalvas ou não aceitação. Quando mais de um equipamento é aceito, cabe a área de compras escolher o de melhor preço.

O procedimento utilizado anteriormente não subdivide a pontuação em dimensões de análise, assim não permite a comparação entre os resultados em diferentes grupos de critérios. Também não permite a elaboração de gráficos em dimensões distintas para diferenciação dos equipamentos.

Em resumo, com relação ao procedimento de confronto técnico utilizado anteriormente, o procedimento melhorado com o método QFD permitiu a obtenção dos seguintes benefícios observados pela equipe da empresa:

- Explicitação das reais necessidades dos clientes internos com relação à escolha dos equipamentos;
- Transmissão de necessidades de diferentes dimensões da qualidade exigida (Qualidade do Produto, Produtividade, Segurança, Meio Ambiente, Serviços, Desenvolvimento Pessoal e Custos) para o projeto de aquisição de equipamentos, o que permitiu melhoria dos parâmetros analisados dos equipamentos em função das reais necessidades dos clientes internos.
- Padronização das CTE e CS em módulos de classes de equipamentos o que facilita o processo de seleção e permite um espiral de acúmulo de conhecimento.
- O processo de construção e preenchimento das matrizes mostrou que a escolha de equipamentos pode ser mais objetiva por meio do uso do QFD. O que permitiu uma rastreabilidade explícita e objetiva do motivo de priorização de um equipamento (resultados das correlações).
- Processo de decisão mais objetivo pelo procedimento de obtenção dos critérios de priorização, pelas maneiras distintas de maximização e pelo uso de ferramentas gráficas.
- Como o processo foi mais explícito com relação ao impacto positivo ou negativo das características dos equipamentos e serviços nas diferentes dimensões das QE, permitindo nivelamento entre as ofertas dos fornecedores nessas dimensões, considerou-se que esse procedimento com o QFD melhor auxilia a antecipação de solução de problemas com relação ao utilizado anteriormente.

O procedimento construído foi adicionado ao Padrão Gerencial de Desenvolvimento de Novos Processos de Manufatura do pilar GPE do WCM da empresa, que possui

resumidamente as etapas mostradas na Figura 6 (WCM, 2007). O procedimento com o método QFD está na etapa Projeto Detalhado e auxilia a atividade Seleção de Fornecedores e Equipamentos, em particular a etapa de confronto técnico do pilar GPE.

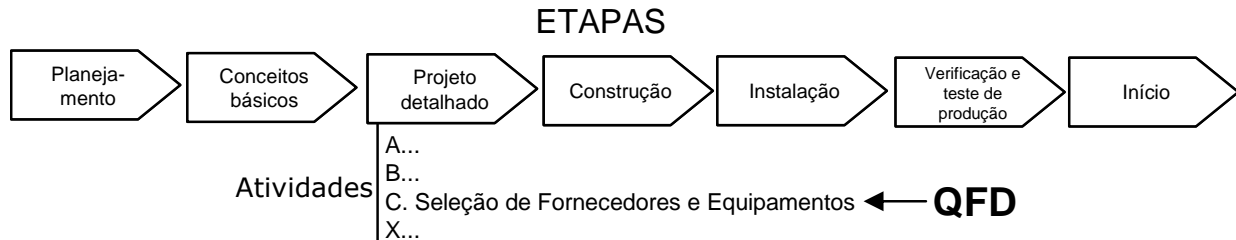


Figura 6 – QFD no pilar GPE

A adição do novo procedimento com QFD ao Padrão foi importante para que fosse operacionalizado na rotina de trabalho da área. Ao longo dos trabalhos observou-se que o método QFD também pode auxiliar em outras etapas do pilar GPE, o que poderia ser tema de outros projetos de estudo.

6. Conclusão

Este artigo apresentou uma aplicação do método QFD na melhoria de um processo de seleção de máquinas e equipamentos, na atividade de comparação técnica, na Gestão Preventiva de Equipamentos (GPE) do sistema WCM. Importante salientar que esse procedimento não determina qual equipamento vencedor, mas sim, busca prover subsídios para tomada de decisão.

O procedimento com o método QFD permitiu o alcance de alguns benefícios para empresa, em especial: 1- explicitação das qualidades exigidas (QE) das áreas de produção, manutenção, segurança, meio ambiente entre outras quanto aos equipamentos; 2- melhor padronização do processo de confronto técnico; 3- processo de decisão mais objetivo pelo processo de obtenção dos critérios de priorização dos equipamentos e pelas maneiras de apresentação dos resultados; e 4- melhor antecipação na solução de problemas com relação ao utilizado anteriormente pela empresa por meio de um processo mais explícito com relação ao impacto positivo ou negativo das características dos equipamentos e serviços, nas diferentes dimensões das QE (Qualidade do Produto, Produtividade, Segurança Meio Ambiente e Energia, Custos e Serviços) e pela permissão de um nivelamento entre as ofertas nessas dimensões.

A maior dificuldade percebida na utilização do novo procedimento com o método QFD é uma maior demanda de dedicação e envolvimento dos funcionários do setor responsável pela seleção e dos demais interessados das outras áreas funcionais. Sugere-se, para próximos estudos, a adaptação do modelo em outros contextos e diferentes áreas. Também, propõe-se que sejam avaliados outras ferramentas e métodos para suporte ao QFD no processo de seleção de equipamentos

Referências

- AKAO, Y. *Introdução ao desdobramento da qualidade*. Série Manual de Aplicação do Desdobramento da Função Qualidade. v. 1. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 187 p., 1996.
- AKAO, Y.; MAZUR, G. H. *The leading edge in QFD: past, present and future*. International Journal of Quality

& Reliability Management – The Leading Edge in Quality Function Deployment, v. 20, n. 1, p. 21-35, 2003.

ALMANNAI, B.; et al. *A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies.* Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 24, pp. 501-507. 2008.

CARVALHO, A. A.; CHENG, L. C. *The use of QFD for choosing equipment.* Proceedings of the World Innovation and Strategy Conference 1998, 4th International Symposium on Quality Function Deployment, University of Western Sydney, Macarthur, Sydney, pp. 167-75. 1998.

CHAKRABORTY, S.; DEY, S. *QFD-based expert system for non-traditional machining processes selection.* Expert System with Applications, v. 32, pp. 1208-1217, 2007.

CAUCHICK MIGUEL, P. A.; CARPINETTI, L. C. R. *Some Brazilian experiences in QFD application.* In: International Symposium on Quality Function Deployment, 5th. 1999, Belo Horizonte. Proceedings of the Fifth Annual International Symposium on Quality Function Deployment. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, p. 229-239, 1999.

CHENG L. C.; MELO FILHO, L. D. R. *QFD: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos.* São Paulo: Editora Blucher, 2007. 539 p.

CHENG L. C. *QFD in Product Development: Methodological Characteristics and a Guide for Intervention.* International Journal of Quality e Reliability Management. Vol. 20(1): 107- 122. 2003.

CHAN, L. K.; WU, M. L. *Quality Function Deployment: a literature review.* European Journal of Operational Research, v. 143, n. 3, pp. 463-497, 2002.

COOPER, R.G.; et al. *Portfolio Management in New Product Development: Lessons from the Leaders – I e II.* Research Technology Management. Vol. 40(5): 16-28; Vol. 40(6): 43-52. 1997.

FLYNN, B. B.; et al., *World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheewright's foundation.* Journal of Operations Management, v.17, pp. 249-269. 1999.

SUSMAN G. I., EVERED R. D. *An assessment of the scientific merits of Action Research.* Administrative Science Quarterly, v. 23, 1978.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação.* São Paulo: Cortez Editora, 1996. 107p.

YAMASHINA, H. *Challenge to world-class manufacturing.* International Journal of Quality & Reliability Management, v. 17 No. 2, pp. 132-143. 2000

WCM. *Crerios Operativos. Apostila FIAT AUTO PRODUCTION SYSTEM.* 2007.