

# **Aplicação do QFD em uma empresa de materiais: desdobramentos da qualidade e da tecnologia com auxílio da técnica de planejamento e análise de experimentos**

Leonel Del Rey de Melo Filho (NTQI / DEP / UFMG) [leoneldrmf@yahoo.com.br](mailto:leoneldrmf@yahoo.com.br)

Lin Chih Cheng (NTQI / DEP / UFMG) [lincheng@dep.ufmg.br](mailto:lincheng@dep.ufmg.br)

## **Resumo**

*Este artigo apresenta duas aplicações sequenciais do método Desdobramento da Função Qualidade (QFD) em uma indústria de materiais, na etapa de preparação para produção de um novo produto, e no re-projeto de um outro. No primeiro projeto o método mostrou ser capaz de auxiliar a empresa na garantia de qualidade de seu produto, induzindo a procura de novos conhecimentos, e explicitando a relação de causa-e-efeito de todo processo de produção, com foco nas reais necessidades de seu cliente. Outro aspecto inovador dessa aplicação foi a aquisição do conhecimento do processo de fabricação desse cliente, possibilitando o entendimento do porquê das características da qualidade especificadas do produto, tornando explícito as suas reais necessidades – extração invertida. No segundo projeto, a realização do desdobramento da tecnologia em associação com o da qualidade permitiu uma análise de vai-e-vem entre os dois mundos – o da tecnologia e o da qualidade. Isso robusteceu o modelo conceitual e também aumentou a troca de conhecimento entre as pessoas do grupo de desenvolvimento. Esse procedimento mostrou que durante o desenvolvimento do produto podem ser analisados as relações de causa-e-efeito da qualidade do produto com foco na satisfação do cliente externo (comprador do produto), em conjunto com as relações de causa-e-efeito dos índices de controle de fabricação, como produtividade, com foco no cliente interno (a empresa). A utilização da técnica estatística planejamento e análise de experimentos auxiliou na definição das ações que foram realizadas no processo produtivo e na definição de correlações.*

*Palavras-chave: Desenvolvimento de produto, QFD, Indústria de materiais.*

## **1. Introdução**

Em função de sua importância, a Gestão de Desenvolvimento de Produtos em empresas tem sido tema de diversas pesquisas nos últimos anos. No entanto, pouco sobre indústria de materiais - do substrato da natureza para primeiro estágio de industrialização - têm sido publicado (MEYER & DALAL, 2002). Uma das explicações se deve a dificuldade de desenvolvimento de produtos nesse segmento industrial que possui processo contínuo de fabricação, e o curso das inovações de produto e processo podem durar décadas (UTTERBACK, 1994).

O objetivo deste artigo é relatar duas aplicações do QFD em uma indústria de materiais, produtora de cal, na preparação para produção de um produto novo para empresa, e no re-projeto de um outro. Há quatro aspectos inovadores nessas aplicações: 1- utilização do desdobramento da tecnologia em associação com o da qualidade positiva; 2- utilização da técnica de planejamento e análise de experimentos como auxiliar aos dois desdobramentos; 3- aplicação numa indústria de materiais; 4- construção do modelo conceitual do cliente e transposição deste para alimentar o modelo conceitual da empresa – extração invertida.

## **2. O método QFD (Quality Function Deployment - Desdobramento da Função Qualidade)**

O QFD foi desenvolvido no Japão no final dos anos 60, como método que auxilia na garantia da qualidade de produtos durante as fases de desenvolvimento (AKAO & MAZUR, 2003). O QFD tem sido conceituado como “uma forma de comunicar sistematicamente informação relacionada com a qualidade e de explicitar ordenadamente trabalho relacionado com a obtenção da qualidade...” (CHENG, 1995). A aplicação deste método tem sido mais nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produtos. Entretanto há uma aplicação relatada na etapa de preparação para produção (ARAÚJO, 2002), porém não na indústria de materiais.

O QFD possui quatro dimensões de desdobramento: desdobramento da qualidade, da confiabilidade, da tecnologia e do custo. No entanto, a maioria das referências encontradas e analisadas mostra exemplos da utilização apenas do desdobramento da qualidade, não sendo encontrado referências sobre o desdobramento da tecnologia em indústria de materiais.

Durante a aplicação do QFD é necessário que sejam levantadas informações sobre diferentes agentes, como: mercado alvo, necessidades dos clientes e suas prioridades, análises de concorrência, grau de correlações, entre outros. Para obtenção e análise dessas informações pode-se utilizar técnicas estatísticas, tanto qualitativas quanto quantitativas, como auxiliares ao método (DRUMOND, 1997). Uma destas técnicas utilizadas no desenvolvimento de produtos é o planejamento de análise de experimentos (MONTGOMERY, 1997). Há relato de sua utilização com o QFD em indústrias de alimentos, mas não como auxiliar em conjunto aos desdobramentos da qualidade e tecnologia, aplicados em indústria de materiais.

### **3. Produtos e empresa**

A cal é um material composto principalmente por óxido de cálcio (CaO), e sua fabricação e utilizações são evidenciadas desde a antiguidade. A qualidade e o tipo desse material dependem de diversos fatores incluindo propriedades físicas, reatividade com a água e composição química. Esse é usado como matéria prima em diferentes segmentos industriais e possui diversas aplicações.

A empresa é produtora de cal, está localizada em uma cidade próxima a Belo Horizonte - MG. Para conquistar novos mercados decidiu produzir novos produtos para fábrica. Almejando o sucesso optou por utilizar o método QFD para auxiliá-la na obtenção da qualidade dos produtos em suas fases de desenvolvimento.

Foram desenvolvidos dois projetos seqüenciais. O produto desenvolvido no primeiro foi a cal dolomítica. Nesse, o QFD foi aplicado na etapa de preparação para produção. Este produto seria fornecido primeiramente para um cliente único, que atua no segmento de siderurgia, e iria utilizá-lo como matéria prima auxiliar em seu processo siderúrgico de sopro. Já no segundo projeto, o QFD foi aplicado no re-projeto do produto cal hidratada, que também seria fornecido a um cliente único, que iria utilizá-lo como matéria prima para fabricação do hipoclorito de cálcio, utilizado no tratamento de água.

### **4. Metodologia de pesquisa**

A estratégia de pesquisa adotada foi a pesquisa-ação. O conhecimento sobre o que é a pesquisa-ação e seus procedimentos operacionais já foram descritos e detalhados por diversos autores (COUGHLAN & COGHLAN, 2002). Para efeito deste trabalho, seria suficiente mencionar a definição de acordo com RAPOPORT (1970) “a pesquisa-ação objetiva contribuir para as necessidades práticas das pessoas que estão inseridas em situação-problema e para acumulação do conhecimento das ciências sociais dentro de uma estrutura ética de trabalho mutuamente aceitável”.

Os trabalhos de intervenção tiveram a duração de seis meses cada, e ambos foram desenvolvidos por grupos interfuncionais, de sete pessoas. No primeiro projeto houve a dedicação maior de duas pessoas – em torno de vinte horas semanais para cada um, contando com a participação e coordenação de um líder do grupo. Enquanto no segundo a dedicação maior foi do líder do grupo, em torno de 20 horas semanais. Outras pessoas, além dos grupos principais, em um total de 15 no primeiro e 3 no segundo, participaram das sessões de trabalho e seminários. As principais fontes de informação utilizadas no decorrer deste projeto foram: dados qualitativos e quantitativos provenientes de documentação fornecida pela empresa; informações relativas aos problemas levantadas por observações diretas; e planejamento e acompanhamento das tarefas.

### 5. Resultados e discussões Projeto I

Nesse projeto o QFD foi aplicado na etapa de preparação para produção do ciclo de desenvolvimento de produtos, e realizou-se o desdobramento da qualidade. O modelo conceitual utilizado está apresentado na figura abaixo:

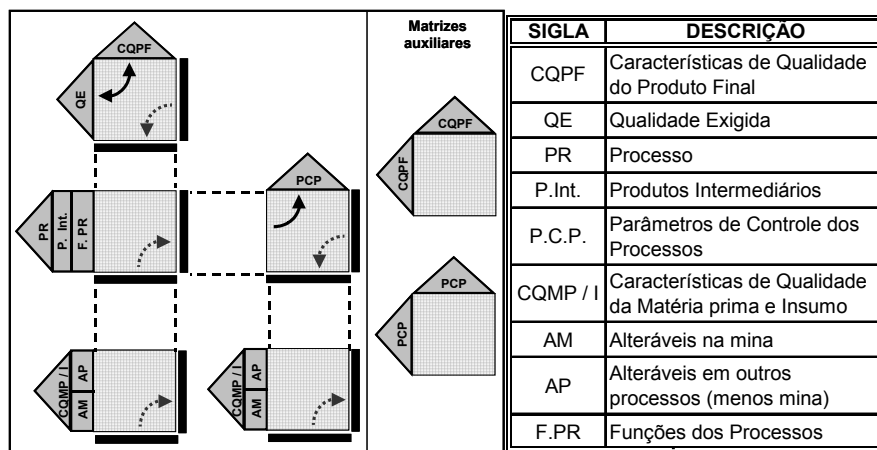


Figura 1 – Modelo conceitual – processo de produção da Cal utilizado neste projeto

O cliente definiu para a empresa as especificações (características de qualidade) que o produto deveria possuir, mas não demonstrou os reais motivos de sua escolha. Os participantes do trabalho não compreendiam como todas as características requeridas iriam influenciar no processo de seu cliente, e desconfiavam que este também não compreendia. Para compreenderem as reais funções da cal dolomítica no processo de sopro, o grupo de desenvolvimento reuniu todas as bibliografias, textos, e arquivos eletrônicos que possuíam sobre este assunto. O estudo deste material demonstrou que muitas informações importantes estavam debaixo do "próprio teto", apenas não estavam organizadas adequadamente, e/ou não era dada devida importância a este material. Realizou-se também um treinamento sobre o processo de siderurgia e a utilização da cal neste processo por um especialista em siderurgia. Estas duas atividades levaram à comprovação de uma hipótese levantada pela equipe: o cliente não compreendia como todas as especificações requeridas para a cal realmente influenciavam em seu processo.

Para organizar todo conhecimento adquirido tornando-o explícito, e propiciar a compreensão do grau de importância que as Características de Qualidade do Produto Final (CQPF) teriam no processo de sopro, foi construído outro modelo conceitual - processo produtivo da aciaria de seu cliente - onde a cal entraria como matéria prima auxiliar. Este modelo não foi validado como o da cal, pois, a necessidade do grupo não era desenvolver aço, e sim compreender a

relação do seu produto no processo de sopro, e como este processo afetava o produto aço fundido, e as características da escória. A Figura 2(a) representa o modelo do aço utilizado.

O conhecimento adquirido pelo grupo foi utilizado para que o modelo conceitual do aço fosse preenchido. Os resultados e conclusões obtidas no preenchimento deste modelo foram utilizados para construção da tabela de qualidade exigida da cal, e também da qualidade planejada da matriz da qualidade. A figura 2 (b) representa este procedimento.

Esta forma utilizada para obtenção das qualidades exigidas se restringem às seguintes características deste trabalho: empresa de materiais, fornecedora de um novo produto que é cativo a um cliente único; e hipótese, fundamentada, de que a empresa compreendia mais que seu cliente sobre como todas as especificações requeridas realmente influenciam em seu processo. Assim o grupo decidiu adicionar nas especificações requeridas outras características de qualidade da cal que deveria possuir.

Resumindo, fez-se primeiramente a extração inversa, que é, partir da característica de qualidade para obtenção da qualidade exigida, perguntando o porquê do requerido. E após o conhecimento adquirido fez-se a extração convencional, adicionando características da qualidade do produto – CQPF – anteriormente não requerido pelo cliente. Esse vai-e-vem, representado pela seta dupla na figura 2 robusteceu as tabelas que compõem a matriz da qualidade do modelo da cal.

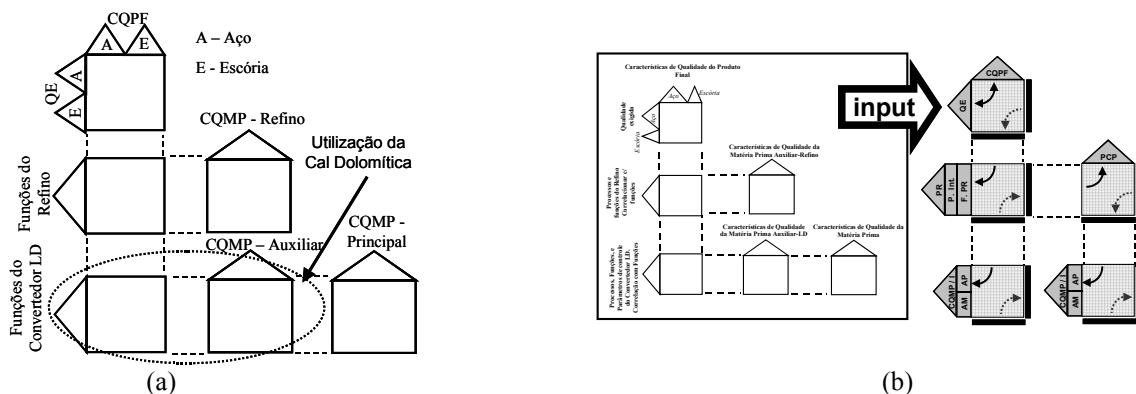


Figura 2 - (a) – Modelo conceitual Aço. (b) Forma de obtenção da qualidade exigida do produto.

As matrizes foram preenchidas pelos integrantes do grupo de desenvolvimento e pelos trabalhadores da fábrica em sessões de trabalhos periódicas. Apenas participaram das reuniões as pessoas “chaves” para que os resultados desejados fossem alcançados. Os valores definidos nas correlações e proporcionalidades foram obtidos pelo consenso resultante das discussões dos indivíduos.

Após o preenchimento de todas as matrizes, construiu-se um padrão de produção, com a finalidade de documentar resumidamente toda relação de causa-efeito obtida nas matrizes, em função das principais CQPF, para que os pontos críticos do processo recebessem maior atenção antes e no início da produção, além de favorecer uma rastreabilidade mais eficiente para as causas dos possíveis problemas de qualidade do produto, durante o início de produção.

**Resultados alcançados para empresa** - Segundo o líder do projeto todas as especificações requeridas pelo cliente foram atendidas. Estes dados foram comprovados pela análise realizada sobre os gráficos de controles construídos para as principais características de qualidade do produto final. A empresa já havia produzido este produto anteriormente, mas a perda de material ficava em torno de 40%, o que inviabilizava sua produção. No entanto, a perda da produção atual está entre 0 à 5%. Segundo o coordenador, este ganho foi possível em

função do entendimento da relação de causa-e-efeito entre as variáveis do processo produtivo, proporcionado pelo QFD. Outros resultados alcançados foram: maior conhecimento das equipes de produção sobre o impacto do processo na qualidade do produto; conhecimento da aplicação da cal e suas funções dentro do processo siderúrgico; vários conhecimentos intangíveis foram explicitados e agregados aos padrões de operação; satisfação interna dos profissionais da fábrica com a qualidade do produto e sucesso do projeto; e replicação do projeto para outros produtos da empresa. O ponto negativo do trabalho foi a não identificação do problema de crepitação do novo forno. Talvez se o trabalho tivesse sido realizado também sobre o desdobrado da qualidade negativa (AKAO, 1996) este problema poderia ter sido evitado e/ou resolvido mais rapidamente.

## 6. Resultados e discussões Projeto II

Nesse trabalho o QFD foi aplicado no re-projeto de um produto, e realizaram-se dois desdobramentos: qualidade(DQ) e tecnologia(DT). Esse último chamado de tecnologia do processo de fabricação. O modelo utilizado nesse trabalho está apresentado na figura abaixo.

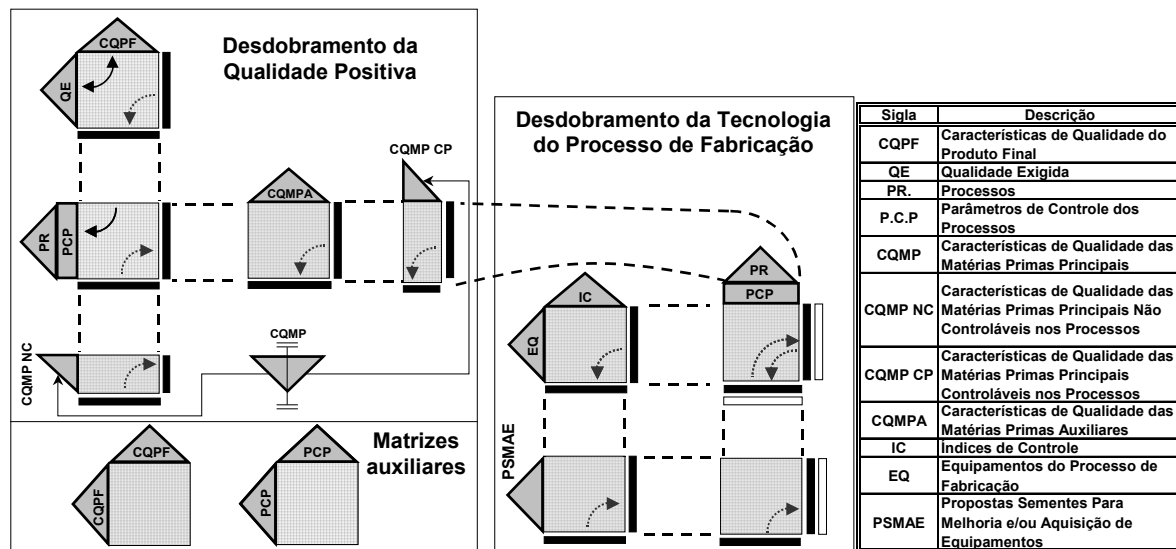


Figura 3 – Modelo Conceitual Projeto Dois

Nesse projeto houve uma distinção entre cliente externo e interno. O cliente externo é aquele que comprará o produto, e suas exigências estão no mundo da qualidade positiva, na tabela das qualidades exigidas. Enquanto que o interno é aquele que fabricará o produto, no caso a empresa, e suas exigências estão no mundo da tecnologia, na tabela de índice de controle (IC). Estes últimos são: produtividade, disponibilidade e rendimento.

O formato desse modelo permitiu ao trabalho as seguintes análises. Alterando um parâmetro de controle com a finalidade de melhorar uma(s) característica(s) de qualidade do produto final (DQ), será necessário alterar alguma(s) característica(s) dos equipamentos do processo, que poderá afetar os índices de controle de produção (DT). Por consequência se for importante alterar alguma característica de equipamento(s), durante o re-projeto do produto, com a finalidade de melhorar algum IC, algum(s) parâmetro(s) de controle também poderá(ão) ser alterado(s), o que poderá afetar as CQPF. Estes procedimentos estão representados nas figuras 4a e 4b.

Para que algum parâmetro de controle fosse alterado durante o re-projeto do produto, tanto objetivando alteração(ões) de CQPF e/ou por consequência IC, e vice-versa, é necessário que alguma(s) característica(s) de equipamento(s) seja(m) alterada(s), o que partiria de ações

originadas do mundo da tecnologia do processo de fabricação. A figura 4c representa a relação de efeito-e-causa desse procedimento de análise.

Esses procedimentos apresentados forneceram uma análise de vai-e-vem entre os dois mundos, durante o re-projeto do produto, o que robusteceu o modelo conceitual, e também aumentou a troca de conhecimento entre as pessoas do grupo de desenvolvimento.

Não foi desenvolvido o modelo conceitual do cliente, como ocorreu no projeto anterior, pois, o processo produtivo do hipoclorito de cálcio é um segredo do fabricante, que não mostrou interesse em revelá-lo.

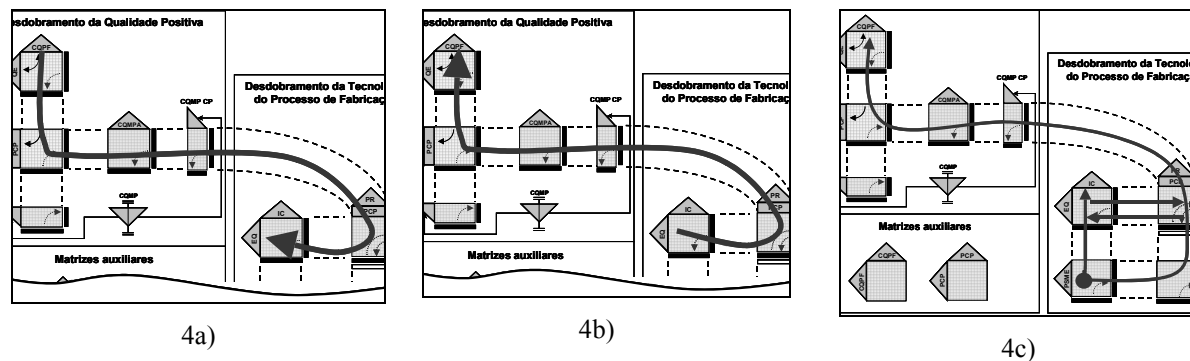


Figura 4 – (a) representação de um possível efeito no IC causado pela alteração de algum (s) parâmetro (s) de controle em função da necessidade de alterar alguma (s) característica (s) de qualidade do produto final. (b) representação de um possível efeito nas CQPF causado pela alteração de algum (s) parâmetro (s) de controle de equipamento (s) em função da necessidade de alterar algum (s) IC. (c) Representação dos possíveis efeitos causados por ações de mudanças em características de equipamentos do processo produtivo durante o re-projeto do produto.

Foram utilizadas duas formas de preenchimento das matrizes. A primeira seguiu a forma utilizada no projeto um, baseada no consenso da equipe. A segunda baseou-se em algumas análises comparativas realizadas entre resultados obtidos da aplicação da técnica planejamento e análise de experimentos, e o obtido no primeiro procedimento.

**Planejamento e Análise de Experimentos** - Objetivando identificar os possíveis fatores que afetam uma característica de qualidade do produto final, densidade, e definir as propostas sementes para melhoria e/ou aquisição de equipamento foram realizados experimentos em laboratório. O primeiro objetivo relacionou-se com a definição de correlações no mundo da qualidade, enquanto o segundo relacionou-se com a definição de ações sobre os equipamentos no mundo da tecnologia. Os fatores foram os parâmetros de controle: tempo de maturação(TM), tempo de hidratação(TH) e as matérias primas, nomeadas de tipo de cales. Para os fatores TM e TH foram analisados dois níveis, para quatro diferentes tipos de cales. Não se realizaram réplicas em função da restrição de recursos.

O experimento escolhido foi o Fatorial Sem Réplicas. Realizou-se três análises dos dados. Na segunda os dados referentes a um nível dos tipos de cales foram expurgados, pois aquele tipo não poderia ser mais utilizado como matéria-prima. Na última análise os dados foram tratados como um experimento fatorial 22 com três réplicas, pois a segunda análise revelou que os tipos de cales não afetariam a densidade do produto. As análises de variância confirmaram que: com certeza os TM e TH afetariam a densidade, pois os p-valores foram menores que 0,05. Enquanto diferentes tipos de cales não afetariam, pois o p-valor foi maior que 0,05. Vale ressaltar que o nível de confiança utilizado no tratamento dos dados foi de 95%. A figura 6 representa as conclusões das análises dos experimentos. Em função das conclusões obtidas nos experimentos, e pelas análises realizadas nas matrizes foram definidas as propostas sementes para melhoria e/ou aquisição de equipamento, do mundo da tecnologia.

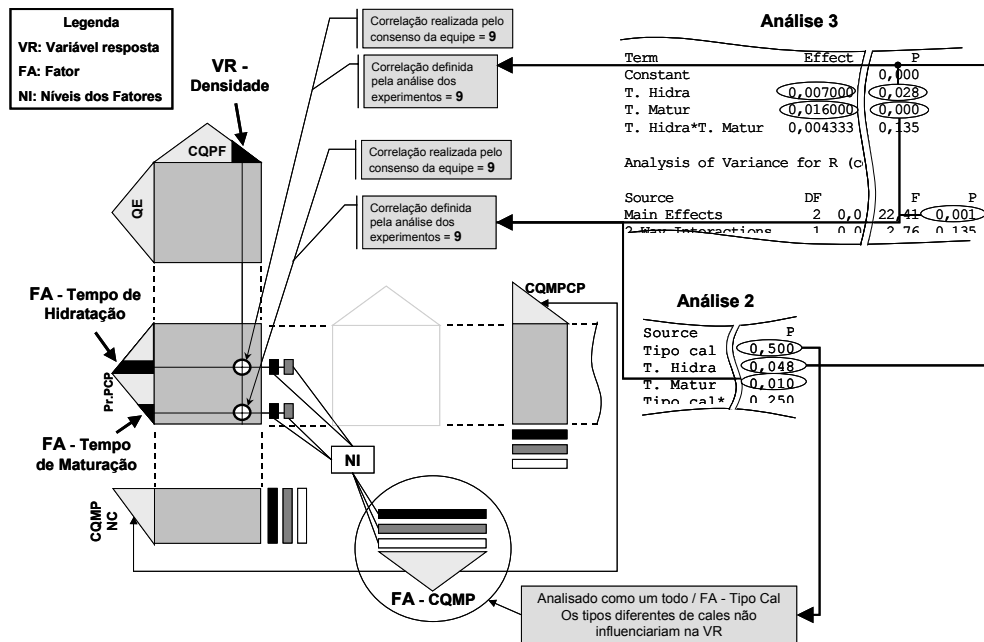


Figura 6 – Planejamento e Análise de Experimento Aplicado Junto ao Método QFD – Mundo da Qualidade

**Resultados alcançados para empresa** - Durante o projeto a empresa foi adquirida por uma multinacional estrangeira, o que desencadeou diversos acontecimentos, como: mudança de foco estratégico e remanejamento de cargos. Em função destes fatos o projeto encerrou-se após a realização de todos os experimentos, sendo analisados e concluídos. Todas as matrizes foram preenchidas, inclusive a tabela de propostas sementes para melhoria e/ou aquisição de equipamento. No entanto, as ações propostas na linha de produção não foram realizadas, assim, o projeto do novo produto ainda não foi concluído.

Segundo o líder, o projeto possibilitou um melhor entendimento das reais necessidades do seu cliente, do processo de hidratação e do produto cal hidratada. Durante o projeto de QFD informações foram explicitadas, sendo construída uma relação de efeito-e-cause de todo o processo produtivo, em função das reais necessidades do cliente externo (comprador do produto) e interno (própria empresa). Assim, o impacto causado na qualidade do produto e índices de controle por meio de qualquer ação sobre a tecnologia do processo de fabricação e características da matéria prima ficou explícito. Outros resultados importantes para empresa foram os obtidos pelo planejamento e análise de experimentos. Fatores que afetam a densidade do produto foram identificados, e ações para o aumento dessa característica foram propostas.

## 7. Conclusões

**Projeto I** - O QFD foi aplicado com sucesso na indústria de materiais para a finalidade de garantia da qualidade na fase de preparação para produção, apesar das particularidades desse segmento: 1- restrição imposta pelas formações geológicas da natureza (calcário); 2- pouca ou quase inexistência de inovações de produto; 3- baixo valor agregado dos produtos; 4- alto investimento em infra-estrutura física; 5- inovação de processo já incorporada nos equipamentos; e 6- forte aceleração do processo de automação dos equipamentos.

No processo de aplicação do QFD, o grupo buscou por várias vezes novos conhecimentos sobre a produção da cal por intermédio de bibliografias e treinamento. No início do projeto havia uma crença de que não haveria grandes acréscimos ao conhecimento já cristalizado na empresa. Entretanto, pela característica própria do método que induz a troca do conhecimento tácito entre os envolvidos e busca da confirmação destes e também de novos conhecimentos

em base conceitual-teórico, houve um salto na acumulação final. Foi preciso fazer o processo de Extração Invertida e posteriormente a Convencional, criando um processo de vai-e-vem, pelas particularidades de a empresa ser uma produtora de materiais, onde o cliente especifica as características de qualidade do produto ao invés das qualidades exigidas. Nessa circunstância, foi necessário e importante para a empresa compreender as reais necessidades do seu cliente fazendo o modelo conceitual do produto do aço para alimentar o modelo conceitual da cal.

**Projeto II** - Mesmo que o novo produto não tenha sido lançado no mercado até aquele momento, esse trabalho mostrou como o QFD pode ser aplicado no re-projeto de um novo produto em uma empresa de materiais, apesar das particularidades desse segmento.

A realização do desdobramento da tecnologia junto com o desdobramento da qualidade permitiu uma análise de vai-e-vem entre os dois mundos, o que robusteceu o modelo conceitual, e também aumentou a troca de conhecimento entre as pessoas do grupo de desenvolvimento. O primeiro mostrou como alterações na tecnologia de fabricação afetam os índices de controle do processo - necessidades do cliente interno. Enquanto o segundo revelou como essas mesmas alterações afetam a qualidade do produto final - necessidades do cliente externo. Por ser uma indústria de processos, transformadora de propriedade, e em função dos objetivos da empresa, o mundo da tecnologia é constituído de fatores de fabricação. A utilização da ferramenta estatística planejamento e análise de experimentos como auxiliar ao QFD levantou informações importantes, utilizadas: na definição das ações que foram realizadas no processo produtivo (inseridas no mundo da tecnologia) e na definição de correlações (mundo da qualidade).

**Alguns tópicos para trabalhos futuros são** - Utilização dos modelos conceituais adaptados para outras indústrias de materiais; aplicação em outras etapas do ciclo de desenvolvimento de produtos e processos; implementação de outros desdobramentos do QFD, como, confiabilidade, custo; e utilização de outras técnicas auxiliares ao QFD nesse segmento.

## 8. Referências

- AKAO, Y. & MAZUR, G. H. (2003) - The Leading Edge in QFD: Past, Present and Future. *International Journal of Quality & Reliability Management* – The Leading Edge in Quality Function Deployment. p. 21 – 35.
- ARAÚJO, F. A. (2002) - *Diferentes Formas de Utilização do QFD ao Longo do Ciclo de Desenvolvimento do Produto*. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte: 197 p.
- CHENG, L. C. (2000) - Caracterização da Gestão de Desenvolvimento do Produto: Delineando o Seu Contorno a Dimensões Básicas. *2º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*. São Carlos: P 1 – 9.
- CHENG, L. C.; et al. (1995) - QFD - *Planejamento da Qualidade*. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte, Brasil. 261 p.
- COUGHLAN, P. & COUGHLAN, D. (2002) - Action Research For Operations Management. *International Journal of Operations e Production Management*. Vol 22. P 220 – 240.
- DRUMOND, F. B. (1997) - *Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e Métodos Estatísticos: Uma Abordagem Integrada Para o Desenvolvimento de Produtos na Indústria de Processos*. Tese de Doutorado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 234 p.
- MEYER, M. H. & DALAL, D. (2002) - Managing platform architectures and manufacturing process for nonassemble products. *International Journal of Product Innovation Management*. Vol 19. P 277 - 293. 2002.
- MONTGOMERY D. C. (1997) *Design and Analysis Of Experiments*. John Wiley e Sons. 704 p.
- OLIVEIRA, L. C. & DRUMOND, F. B. (2001) - *Uso Integrado do Método QFD e de Técnicas Estatísticas de Planejamento e Análise de Experimentos na Etapa do Projeto do Produto e do Processo*. *2º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*.
- RAPOPORT, R. N. (1970) - Three Dilemmas in Action Research. *Human Relations*. v.23, nº 6, p. 499-513.
- UTTERBACK, J. (1992) - *Mastering the Dynamics of Innovation*. Boston: Harvard Business School Press.