



GERENCIAMENTO DE MUDANÇAS DE ENGENHARIA: CARACTERIZAÇÃO E ESTUDOS DE CASO

Henrique Rozenfeld

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Depto. de Engenharia Mecânica, Av. Trabalhador São-carlense - 400 - Centro - CEP 13566-590 - São Carlos - SP, roz@sc.usp.br

Lucas Cley da Horta

Deloitte Consulting, Av. das Nações Unidas, 11633 – 19º andar – CEP 04578-000 – São Paulo – SP, lhorta@dc.com

***Resumo.** A existência de alterações no produto ao longo do processo de desenvolvimento de produto e da sua vida é um fato inevitável. A efetiva gestão dessas mudanças, diante da atual competitividade do mercado, torna-se uma necessidade. Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo caracterizar o processo de mudança de engenharia, analisando suas dimensões, seus aspectos e práticas de gestão, tanto durante o processo de desenvolvimento de produtos como durante toda a vida do produto. Além disso, procurou-se verificar como as empresas brasileiras realizam este processo.*

***Palavras-chave:** Gestão das mudanças de engenharia, Controle da configuração de produto, desenvolvimento de produto.*

1. INTRODUÇÃO

A abertura dos mercados e a conseqüente globalização da economia provocaram uma série de mudanças no setor de manufatura. A exposição a novos mercados, com perfis distintos de clientes, acrescentando ainda a concorrência mundializada, gerou a necessidade de uma maior produtividade, qualidade e variabilidade dos produtos, além da redução de custos e *lead time*, fatores fundamentais para a sobrevivência num mercado cada vez mais competitivo. Esses fatos e a necessidade de se incorporar novas tecnologias a produtos cada vez mais complexos, fazem com que mudanças no produto não possam ser evitadas, seja no seu desenvolvimento ou na produção.

A necessidade da mudança pode surgir de várias fontes, como a identificação de problemas no projeto ou processo de fabricação do produto, melhorias no produto feitas necessárias devido à ação de concorrentes, ou devido a novas exigências dos consumidores, e até mesmo para ajustar o produto a mudanças sazonais do mercado, ou uma nova estratégia da empresa. Assim, a capacidade de incorporar mudanças transformou-se fundamental para habilitar a competitividade.

Para enfrentar esses novos desafios, as empresas devem fazer uso de diversas filosofias, técnicas, metodologias e ferramentas hoje disponíveis para o Processo de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Process – ECP*), buscando sua efetiva gestão.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar o processo de mudança de engenharia na indústria de manufatura, levantando os aspectos relevantes para sua gestão. Além disso, procurou-se estudar algumas empresas de manufatura com objetivo de traçar um esboço do panorama do Engineering Change Management (ECM) hoje no Brasil.

3. ETAPAS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em cinco etapas principais: Planejar Pesquisa, Coletar Dados, Analisar Dados e Relatar Resultados. Além destas, existe outra etapa de Pesquisar Bibliografia que perdurou todo o projeto de pesquisa.

Dentro da etapa de Pesquisar Bibliografia foram selecionadas as bases de dados com informações bibliográficas relevantes para o trabalho e disponíveis para o pesquisador. O embasamento teórico necessário para o desenvolvimento deste trabalho restringiu-se aos seguintes objetos de estudo: ciclo de vida do produto, visão orientada a processos de negócio, gestão da configuração do produto, o processo de desenvolvimento de produto e o processo de mudança de engenharia.

A etapa Planejar Pesquisa compreendeu a definição do objetivo e de toda a abordagem metodológica a ser empreendida, em relação a métodos, procedimentos e técnicas, planejando todo o delineamento das atividades. Selecionou-se a técnica de coleta de dados, neste caso a entrevista semi-estruturada. Elaborou-se um roteiro para condução das entrevistas. Selecionou-se as empresas para o estudo, baseando-se em critérios como setor da empresa e desenvolvimento das práticas de Engineering Change Management (ECM), procurando assim atender a todas as variáveis necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

A etapa de Coletar Dados envolveu as atividades de coleta dos dados a partir das entrevistas e da observação direta do investigador em campo. As entrevistas foram realizadas com pessoas-chaves dentro do processo em cada caso. A outra técnica utilizada para a coleta de dados foi a observação, permitindo ao observador a percepção dos fatos diretamente, sem qualquer intermediação, minimizando a subjetividade do processo investigatório.

Finalizada a coleta dos dados, iniciou-se a etapa de Analisar Dados, elaborando as conclusões obtidas. A partir da comparação entre os casos e a literatura, algumas conclusões foram formuladas. Iniciou-se então a etapa de relatar os resultados. Nesta etapa os resultados e conclusões da pesquisa, bem como todo seu processo, foram compilados e relatados na forma deste artigo.

4. GESTÃO DAS MUDANÇAS DE ENGENHARIA

4.1. Processo de Mudança de Engenharia

Considerando a natureza evolucionária do processo de desenvolvimento de produto e produção, alterações propostas durante um projeto são constantemente revisadas, alteradas, e incrementadas até alcançar as características físicas e funcionais necessárias para atender aos requisitos dos clientes. Até mesmo a melhor engenharia não seria suficiente para desenvolver um item que não necessitasse de modificações durante seu ciclo de vida (Krishnamurthy e Law, 1995). Além de inevitável, as alterações constituem um processo necessário na busca pela manutenção da competitividade, ou para permitir que avanços tecnológicos sejam incorporados ao produto, proporcionando vantagens diante dos concorrentes (Ho, 1994).

Segundo Benedetto e Trabasso (1997), quando uma empresa, que desenvolve e manufatura produtos, precisa modificar dados que descrevem um produto, o processo pelo qual essas modificações são efetivadas é denominado de Mudança de Engenharia (*Engineering Change – EC*).

Na literatura é possível encontrar diversas definições para o processo de mudança de engenharia (*Engineering Change Process – ECP*). A maioria apresenta as mesmas características, havendo basicamente um ponto de discordância: o contexto do fenômeno. Alguns consideram o ECP inserido apenas na produção, ou seja, o produto já deve estar sendo produzido para ser objeto desse processo. Seguindo essa linha, Wright (1997) define EC como uma modificação em um componente de um produto, depois que o produto entrou em produção. E outros, como Benedetto e Trabasso (1997) consideram que o ECP característico do processo de desenvolvimento de produto. Para este trabalho, definiu-se que o ECP abrange todas as fases do produto ao longo do seu ciclo de vida.

4.2. Dimensões do Processo de Mudança de Engenharia

Na revisão desenvolvida por Wright (1997), um dos resultados do trabalho é a não identificação de publicações que tratassem as Mudanças de Engenharia (*Engineering Change – EC*) sob o ponto de vista de processo de negócio. Lyon (2000) reconhece que um processo formal deveria ser estabelecido para a aprovação e implementação de mudança em dados de projeto. Loch e Terwiesch (1999) propõe o mapeamento do processo para identificação de possíveis problemas de implementação, porém o caracteriza apenas em termos de atividades. Benedetto e Trabasso (1997), Loch e Terwiesch (1999); Pikosz e Malmqvist (1998) e Loch e Terwiesch (1999) discutem ECP como um processo.

Como todos os processo de negócios presentes em uma empresa, EC precisa ser gerenciado para ser efetivo (Benedetto e Trabasso, 1997). Um pedido de mudança (*Engineering Change Request – ECR*) pode resultar de uma miríade de razões, tornando difícil desenvolver uma solução global que atenda a todo tipo de empresa e mudança.

O gerenciamento não efetivo do ECP pode gerar custos excessivos e instabilidade no planejamento da produção, tipicamente referida como nervosidade do sistema MRP (Balakrishnan e Chakravarty, 1996). De acordo com Terwiesch e Loch (1999), a gestão do ECP recebe pouca atenção, sendo uma das causas raízes dos custos de novos desenvolvimentos, visto que o ECP pode consumir de 33% a 50% da capacidade da engenharia. Huang e Mak (1998) acrescentam que outro problema típico é encarar o processo como tarefas de “*apagar incêndios departamentais*”, e não de maneira cooperativa e construtiva.

No sentido de apoiar a abordagem formal, Benedetto e Trabasso (1997) propõem um *framework* para o ECM (Engineering Change Management), apresentando fatores que precisam ser considerados no gerenciamento, destacando: o processo de aprovação de ECRs, a estrutura organizacional, fatores internos e externos, os recursos envolvidos, a relação com a estratégia da empresa, o procedimento de comunicação das mudanças aos envolvidos, a documentação necessária, a classificação das ECRs, análise de riscos, as reações psicológicas decorrentes das alterações, a política da empresa e as fontes originadoras de mudanças.

Diante desse *framework* e considerando as dimensões características da visão por processo de negócio, foram selecionados alguns elementos de destacável influência para a gestão das mudanças de engenharia. Esses elementos são a organização, os modelos e atividades, as informações, os recursos e a estratégia de produto e produção, apresentados com mais detalhes nos itens seguintes.

4.2.1. Organização para o Engineering Change Management (ECM)

Normalmente em ambientes de projeto multidisciplinar, mudanças realizadas em uma disciplina afetam especificações de projeto em outras (Krishnamurthy e Law, 1995). O envolvimento de diversas áreas da empresa, como engenharia, manufatura, qualidade, marketing etc., no processo de mudança de engenharia, caracteriza uma estrutura multidisciplinar. A análise e condução das mudanças devem ser realizadas considerando todos os requisitos dos agentes envolvidos, logo a abordagem baseada em times torna-se a mais conveniente (Smith e Eppinger, 1997; Carvalho, 1999).

Considerando a literatura consultada, torna-se possível identificar alguns times e papéis bem definidos na estrutura organizacional do ECP. Os mais comumente utilizados são *Change Control Board*, o *Change Manager*, o *Originator*, o *ECR Owner*, dentre outros.

O processo de mudança está fortemente ligado a fatores psicológicos, muitos dos quais naturais ao ser humano. Esse caráter é destacado por vários autores (Balcerak e Dale, 1982; Reidelbach, 1991; Benedetto e Trabasso, 1997; Wright, 1997; Pikosz e Malmqvist, 1998). De maneira geral, mudança de engenharia acaba sendo considerada um mal necessário, e a maioria das pessoas envolvidas com o processo a encaram com um certo receio e agouro (Balcerak e Dale, 1982).

A própria natureza do processo de mudança é uma fonte de irritação e desconforto. Iniciar esse processo pode significar que o projetista terá que re-projetar algo já efetuado por ele próprio. Isto

pode fazê-lo sentir-se acusado de ter cometido um erro, ou então na obrigação de realizar o trabalho novamente devido a uma falha cometida no projeto de um componente com alguma ligação com o seu, por um outro colega qualquer. Por essas razões, o ECP acaba sendo visto com um *status* inferior ao criativo ato de projetar pela “primeira vez”, resultando em inúmeras atitudes negativas ao longo do processo (Pikosz e Malmqvist, 1998).

Mais do que um erro, toda mudança deveria ser encarada como uma oportunidade de melhoria (Benedetto e Trabasso, 1997), muitas vezes explícita a partir do surgimento de uma nova tecnologia, ou de um novo requisito do mercado.

4.2.2. Modelos e Atividades

Na pesquisa bibliográfica realizada foram identificados poucos trabalhos referentes ao desenvolvimento de modelos para o processo de mudança de engenharia. Huang *et al* (2001) corrobora com essa constatação. Alguns trabalhos apresentam atividades referentes ao processo, mas sem o comprometimento de adotar um formalismo para sua representação, ou mesmo um maior nível de detalhe das atividades propostas. Algumas normas apresentam modelos para o processo, como é o caso da ISO/DIN 199.

Dos modelos identificados na revisão, destaca-se o de Maull *et al* (1992) e o de Carvalho (1999). Eles sintetizam de forma simples as principais atividades do processo de mudança de engenharia. Os dois modelos são discutidos na seqüência.

Maull *et al* (1992) apresentam um modelo relativamente completo para o processo de mudança de engenharia, resultado da síntese de diversas pesquisas em campo realizadas pelos autores. O formalismo adotado para representar esse modelo é o IDEF0, apresentado em dois níveis de abstração para as atividades descritas. Um modelo macro, identificando o ECP e suas interfaces com outras atividades de outros processos da empresa. E outro, mais detalhado, onde Maull *et al* (1992) propõem atividades denominadas como fundamentais para o controle das mudanças. O modelo é estruturado em Filtrar proposta, Investigar projeto, Avaliar solução, Autorizar mudança e Executar mudança.

O outro modelo discutido a seguir é resultado de um trabalho abordando um estudo de caso realizado por Carvalho (1999), onde um novo sistema foi desenvolvido e implantado para apoiar o ECM em uma multinacional, montadora de veículos pesados. Durante a implementação, foi desenvolvido um modelo para o processo de mudança de engenharia, o qual foi utilizado tanto para a implantação como para treinamento dos envolvidos. Este modelo está dividido em 4 fases: Propor mudança, Avaliar solução, Executar projeto e Implementar. Como o projeto piloto tratava-se do desenvolvimento de um novo caminhão de carga leve, o modelo de ECP não considerou o processo de produção (Carvalho, 1999).

O estudo de modelos teóricos e práticos pode ser um meio de aprimoramento de um novo modelo a ser proposto ou implementado. No trabalho desenvolvido por Pikosz e Malmqvist (1998), foi realizado uma comparação do processo de mudança de engenharia em três empresas distintas, utilizando, como parte da metodologia, a modelagem do processo de cada caso.

A análise dos modelos, conduzida por Pikosz e Malmqvist (1998), proporcionou a indicação de que uma solução geral para o ECP não é possível caso se busque um processo ótimo. Os processos das empresas estudadas por Pikosz e Malmqvist (1998) apresentaram um modelo semelhante no nível macro, porém o impacto dos requisitos de cada empresa e negócio são visíveis já no nível inferior subsequente, demonstrando grandes diferenças no processo, e por conseqüência, no modelo.

4.2.3. Informação para o Engineering Change Management (ECM)

O processo de mudança de engenharia possui algumas informações formalizadas em alguns documentos padrão, descritos na maior parte dos casos analisados. Esses documentos contêm dados naturais da própria gestão do processo.

Analisando o trabalho de alguns autores (Carvalho, 1999; Pikosz e Malmqvist, 1998), nota-se alguns documentos muito frequentes, utilizados na gestão do processo, sendo eles Pedido de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Request* – ECR), Notificação de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Notification*), Ordem de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Order* – ECO).

Benedetto e Trabasso (1997) detalham as informações que devem estar presentes em uma ECR. O *handbook* Mil-HDBK-61 (1996) contém modelos e padrões para esses documentos que podem ser utilizados como referência.

O controle efetivo da versão desses documentos, bem como de todos os outros utilizados para descrever o produto ou o processo, é de fundamental importância para garantir que as tarefas seja executadas com as informações corretas.

Krishnamurthy e Law (1995) propõe um modelo para controle de versão de documentos baseado nos critérios de acesso e status. O ETA 649 *apud* HDBK Mil 61 (1996) também apresenta um modelo para o controle de versão. Além do controle da versão dos documentos, existem diversos outros métodos utilizados para apoiar o ECM, como a efetividade e sistemas de classificação das mudanças.

4.2.4. Estratégia de Produto e Produção

De acordo com Balakrishnan e Chakravarty (1996) e Ho (1994), os aspectos econômicos associados às mudanças de engenharia são alvo de poucos estudos. Isto pode ser um efeito da dificuldade em se estabelecer um procedimento adequado para avaliar as implicações econômicas do Engineering Change Management (ECM).

Dentre os poucos trabalhos identificados, destaca-se o de Chalmet *et al* (1985), no qual descreve uma heurística para estudar o impacto de uma EC na performance dos sistemas MRP no dimensionamento de lotes. Este estudo se restringiu ao dimensionamento de lotes de produtos com dois níveis na estrutura de produto. Balakrishnan e Chakravarty (1996) teve como foco os custos relacionados a mudanças de engenharia, analisando as estratégias de *phase-in* e *phase-out* dos produtos. Porém não apresenta nenhuma quantificação dos benefícios em termos de aumento de lucratividade, advindos com as mudanças, melhorias de produtos, novos lançamentos etc.

Diprima (1982), propõe que os custos associados com mudanças de engenharia estão distribuídos nos custos de *scrap*, custos de variação do preço de compra e ineficiências da manufatura, apresentando a complexidade em se identificar e totalizar seus valores.

Totalizar os custos referentes às mudanças de engenharia é uma tarefa difícil. Uma das melhores análises desse tema é apresentada em (Balakrishnan e Chakravarty, 1996). Outros, como Terwiesch e Loch (1999), apresentam valores obtidos de estudos de caso, como por exemplo, que o impacto negativo das mudanças de engenharia representa de 20% a 50% do custo do ferramental.

Huang *et al* (2001) reporta um trabalho de *survey* internacional realizado em 1988, conduzido em empresas americanas e européias de diversos setores de manufatura (aeroespacial, defesa, têxtil, eletrônicos, produtos de consumo, construção etc.). A faixa de mudanças nas empresas analisadas variava de duas a 1000 mensais, com uma média de 330 mudanças de engenharia por mês. Os custos administrativos, de pequenas empresas até as presentes no FORTUNE 500, resultaram na média de US\$1400,00 por mudança. Estes valores correspondem a um custo de administrativo anual de US\$3,4 milhões até US\$7,7 milhões, justificando uma maior atenção ao ECM.

4.2.5. Sistemas de Informação

Huang *et al* (2001) identificaram três tipos de sistemas que apóiam o ECM. O primeiro tipo consta dos aplicativos básicos de automação de escritório utilizados para preparar documentos e planilhas para registro de informações referentes às mudanças. O segundo tipo é constituído dos sistemas especialmente desenvolvidos para suportar atividades básicas do processo de mudança de engenharia, incluindo, por exemplo, as solicitações e registros das mudanças. O terceiro tipo refere-

se as soluções *Product Data Management* (PDM), *Electronic Document Management* (EDM) e *Enterprise Resource Planning* (ERP).

Os sistemas ECM possuem uma relação estreita com diversos outros sistemas de suporte ao projeto e planejamento, tais como CAD (*Computer Aided Design*), CAPP (*Computer Aided Process Planning*) e MRP (*Material Requirement Planning*).

Os sistemas CAD são utilizados para apoiar a geração de modelos geométricos, sólidos ou não, facilitando as atividades de esboço até o detalhamento do projeto. Os sistemas CAPP gerenciam as informações e apóiam as atividades relativas ao planejamento de processo. Os sistemas MRP têm como principal funcionalidade apoiar o processo de planejamento e aquisição de materiais.

Os ambientes baseados na plataforma da Internet propiciam novas abordagens para os negócios, inclusive para as práticas de Engineering Change Management (ECM). De acordo com Huang *et al* (2001), a mudança mais significativa é a possibilidade de acesso simultâneo de múltiplos usuários geograficamente distribuídos. Neste sentido, os mesmos autores desenvolveram um sistema ECM para web.

A gestão das mudanças de engenharia consolida-se como um dos principais critérios de seleção e uso dos sistemas PDM. A gestão da configuração do produto ao longo de seu ciclo de vida, bem como o caráter colaborativo dos atuais desenvolvimentos de produto, e por conseqüência, toda a necessidade de gestão integrada e distribuída das mudanças de engenharia solicitadas por parceiros geograficamente distantes, caracterizam os principais usos dos sistemas PDM para as práticas de ECM.

4.3. Benefícios da Gestão do Processo de Mudança de Engenharia

Melhorias no ECM freqüentemente aparecem em termos da não interrupção de outros processos, dificultando a avaliação dos seus benefícios diretos (Benedetto e Trabasso, 1997).

Diante das várias etapas do ciclo de vida de um produto, quanto mais cedo for identificada uma necessidade de mudança, menor serão seus impactos (Syan e Menon, 1994). Além disso, outras ações devem ser tomadas para atender a esse mesmo objetivo. Os contratos com fornecedores devem constar cláusulas que facilitem a absorção das prováveis mudanças ao longo do ciclo de vida do produto (Reidelbach, 1991).

No estudo apresentado por Martel (1985), 80% ou mais do *lead time* total é tempo no qual o produto, seus componentes, e suas submontagens estão ociosos. Redução no *lead time* pode ser obtida através da otimização de atividades associadas com recepção de material, inspeção, emissão, estocagem, agrupamento e organização (Reidelbach, 1991). Além dessas, outras ações podem ser tomadas com o intuito de reduzir o *lead time*, como evitar mudanças indesejáveis, elaborar um planejamento prevendo prováveis mudanças, baseando-se no histórico e em especialistas, etc.

Reidelbach (1991) apresenta algumas diretrizes para facilitar o gerenciamento do processo de mudança de engenharia. Em um estudo de caso realizado e apresentado por Watts (1982), são enumerados alguns benefícios obtidos em oito meses após o início da efetivação do ECM.

5. ESTUDOS DE CASO

5.1. Seleção dos Casos

Como discutido no item 3, alguns critérios foram definidos para a seleção das empresas para estudo. Do universo de casos disponível para o pesquisador, foram identificados alguns de maior interesse, os quais demonstravam práticas sistematizadas da gestão de dados do produto. As empresas que atenderam aos critérios definidos e que possibilitaram uma abertura para o estudo foram três.

A primeira empresa, denominada no texto de *Empresa A*, é uma multinacional que desenvolve e manufatura dispositivos para indústrias de automação e controle. Ela possui um grande *portfolio* de produtos, fato justificado pela necessidade de atender a requisitos específicos de cada cliente.

Possui um processo estruturado para a gestão das mudanças de engenharia, apoiado por um sistema de informação em fase de implantação.

A segunda empresa selecionada para o estudo, denominada de *Empresa B* pertence ao setor mecânico, desenvolvendo e fabricando componentes para a indústria de bens de consumo duráveis. Possui um processo estruturado para a gestão das mudanças de engenharia, apoiado por dois sistemas de informação, um desenvolvido sob uma plataforma Lotus Notes, e integrado a outro sistema, no caso um ERP (SAP/R3 4.6C).

A última empresa selecionada para o estudo, denominada de *Empresa C*, é uma multinacional do setor automotivo. Apesar de se caracterizar mais fortemente como um centro de manufatura, também possui alguns desenvolvimentos de produtos para atender ao mercado local, ou adaptações de produtos provenientes de sua matriz internacional. O processo de mudança de engenharia é tratado de maneira singular pela *Empresa C*, visto que seu estreito relacionamento com a matriz internacional confere um alto nível de complexidade ao ECM.

5.2. Análise dos Casos

A seguir, os casos são analisados e comparados, atentando para os seguintes tópicos: Processo de Mudança de Engenharia e Gestão de Configuração, Modelos e Atividades, Informação para a Gestão da Mudanças de Engenharia, Organização, Sistemas de Apoio, Estratégia de Produto e Produção, e Benefícios.

5.2.1. Processo de Mudança de Engenharia e Gestão de Configuração

As três empresas analisadas apresentam práticas sistematizadas para a gestão das mudanças. A *Empresa B* possui um processo único que apóia as mudanças ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Entretanto, as *Empresas A* e *C*, tratam distintamente mudança nos produtos em desenvolvimento e em produção, sendo que a primeira não possui uma sistemática definida para as mudanças durante o desenvolvimento. No caso da *Empresa C*, existem ainda outras diferenciações, relacionadas com o tipo de produto e status de liberação nos sistemas de apoio. Algumas práticas da gestão de configuração são utilizadas pelas empresas estudadas, entretanto ainda não sistematicamente.

5.2.2. Modelos e Atividades

Os casos analisados apresentaram um tratamento formal para os processos de mudança, com exceção da *Empresa A* para a etapa de desenvolvimento de produto e a *Empresa C* para o desenvolvimento de um determinado produto de menor volume, ambos ainda *ad hoc*.

Todos os processos estão ilustrados em modelos de referência. Na *Empresa A*, um modelo gráfico foi desenvolvido para auxiliar a implantação de um novo sistema de apoio ao ECM. Na *Empresa B*, existem manuais de referência e normas auditáveis contendo todos os procedimentos e práticas necessárias para o processo. Na *Empresa C* existem modelos de referência, muito relacionados com os sistemas de informação utilizados.

Apenas o modelo do caso *B* está estruturado em fases, sendo elas Concepção, Planejamento, Execução e Homologação. Em todos os modelos discutidos, uma seqüência de objetivos expressos nas atividades caracteriza o processo unicamente, como a necessidade da mudança, o requerimento, a avaliação, a solução, a execução, a aprovação final e a liberação da mudança já executada.

As *Empresas A* e *B* não possuem métricas para o processo de mudança. No caso *C*, também não existem métricas formais. Entretanto, a consultoria que assiste a empresa possui um conjunto de indicadores que auxiliam a gestão como, por exemplo, o tempo de ciclo de vida da mudança, o tempo parado em elementos funcionais, custo médio da mudança. As *Empresas A* e *C* destacaram a necessidade de métricas bem definidas para acompanhar o desempenho do processo.

5.2.3. Informação para a Gestão das Mudanças de Engenharia

Ao longo do ciclo de vida do produto, os casos estudados apresentaram diferentes fontes solicitadoras de mudança. Na *Empresa A*, a maioria dos pedidos de mudanças é proveniente do chão-de-fábrica, para produtos em produção. Na *Empresa B*, a principal fonte solicitadora de alterações é o cliente. E no caso da *Empresa C*, tem-se a equipe de desenvolvimento de produto e o cliente, respectivamente, para produtos em desenvolvimento e em produção.

Em todos os casos, qualquer um envolvido com o processo pode solicitar uma mudança de engenharia. Para a *Empresa A*, a solicitação deve obrigatoriamente constar uma proposta de solução. Os casos *B* e *C* utilizam sistemas que obrigam o registro de algumas informações básicas para cadastro do pedido. Em nenhum dos casos analisados é utilizado um procedimento formal para pré-avaliação da necessidade de mudança.

Os desenhos ou geometrias de componentes são os documentos de maior número de modificações para as *Empresas A* e *C*. Para o caso *B*, tem-se a estrutura de produto.

O conceito de efetividade é utilizado para todos os casos. As *Empresas A* e *B* utilizam datas para efetivação da mudança. Para a empresa *C*, os protótipos são o critério para a efetividade durante o desenvolvimento. E na produção, utiliza-se tanto data quanto número de série, conjuntamente.

Os casos *A* e *C* não utilizam um sistema para classificação das mudanças. A *Empresa B* faz uso de um sistema baseado em critérios relacionados com o tipo do projeto resultante do pedido.

Os documentos utilizados na *Empresa A* são a Solicitação de Mudança e a Autorização de Mudança. A *Empresa B* utiliza um único para todo o processo, denominado de Idéia/sugestão. Os documentos do caso *C* são diversos, distribuídos em vários sistemas.

5.2.4. Organização para a Gestão das Mudanças de Engenharia

Dos casos estudados, apenas o *C* possui uma área cujas atribuições são todas relacionadas com mudanças de engenharia, denominada de *Acompanhamento de Série*.

Todos apresentam uma estrutura baseada em papéis assumidos para a gestão das mudanças. Desses, destaca-se a presença do comitê (CCB), do gerente de mudanças ou do comitê, e de grupos ou times para desenvolvimento, ou execução da mudança.

Nas *Empresas A* e *C*, foram levantados pelos entrevistados alguns aspectos negativos relacionados com as mudanças, considerando os envolvidos com o processo. Os entrevistados do caso *A* ressaltaram o total comprometimento da equipe.

5.2.5. Sistemas de Apoio a Gestão das Mudanças de Engenharia

Todos os casos estudados utilizam sistemas para apoiar a gestão das mudanças de engenharia. O caso *A* está implantando um sistema para automatizar o fluxo de atividades definidas para as mudanças, utilizando o componente *Workflow* de um sistema PDM corporativo. A *Empresa B* utiliza um sistema para automatizar as atividades e gerenciar os documentos relacionados com a gestão do processo, desenvolvido a partir de um sistema *Workflow*. A *Empresa C* também utiliza sistemas desenvolvidos a partir de *Workflow*. Tanto a *Empresa B* como *C* utiliza sistemas baseados em Lótus Notes.

Sistemas PDM ou EDM são utilizados em todos os casos para a gestão dos documentos de engenharia. Entretanto, em nenhum dos casos existe uma integração desenvolvida entre eles e os sistemas ECM.

5.2.6. Estratégias de Produto e Produção

As *Empresas A* e *C* possui uma produção MTO (*Make to Order*), enquanto que a *B* é MTS (*Make to Stock*). A *Empresa A* sofre poucos efeitos das mudanças de engenharia sobre o planejamento da produção. O caso *B*, devido ao grande envolvimento de todas as áreas da empresa,

nenhum efeito negativo é identificado no PCP. Para o caso C, a influência das mudanças no planejamento foi citada diversas vezes, principalmente referindo-se ao sucateamento de peças em estoque.

A viabilidade econômica de uma mudança é avaliada em casos especiais para todas as empresas estudadas. Na maioria dos casos, a própria engenharia faz uma avaliação macro dos valores, fazendo uso apenas da experiência.

5.2.7. Benefícios da Gestão das Mudanças de Engenharia

Os principais benefícios do efetivo ECM relatados estão relacionados com a melhoria da comunicação entre os envolvidos com o processo, o registro de um histórico de projeto, a rastreabilidade das mudanças, e uma melhor qualidade das informações utilizadas.

Em relação às barreiras, notadamente estão relacionadas com fatores culturais, como rejeição a alterações de procedimentos ou processos de trabalho, mesmo que objetivando uma melhoria nas práticas de ECM.

6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou caracterizar o processo de mudança de engenharia na indústria de manufatura, levantando os aspectos relevantes para sua gestão. No decorrer do trabalho alguns pontos tornaram-se notáveis, como a relação entre a gestão de configuração e a gestão de mudanças de engenharia. O Controle de Configuração, um dos processos sistematizados na Gestão da Configuração, e o ECM são ações para um mesmo problema raiz: gerenciar mudanças no produto. As origens dos conceitos são distintas, entretanto fundem-se nos objetivos.

Um dos grandes problemas do ECM, identificado durante a pesquisa, é que seus resultados não se refletem no próprio ECM, mas sim em outros processos da empresa. Este fato torna justificativas para a valorização, ou melhoria do processo, vagas e desconsideráveis. O uso de indicadores ou métricas de desempenho é uma tentativa de demonstrar os resultados diretos da efetiva gestão das mudanças de engenharia. As empresas deveriam atentar para esse fato.

Outro ponto identificado na revisão e destacado em alguns dos casos estudados é a relação entre a necessidade da mudança e os envolvidos com o processo. O caráter menos criativo reconhecido na atividade de corrigir em relação à de criar promove uma série de conflitos. O ato de mudar corretivamente é causado por um erro, que pode ter origem na criação. Assim, existe ainda a visão de que os envolvidos com as mudanças delatam e averigam o trabalho da conceituação.

A barreira cultural foi ressaltada na literatura e nos casos. Mudar procedimentos de trabalho, controlar efetivamente as informações e gerir todo um processo, mesmo com a intenção de buscar uma melhoria encontra resistência por parte de muitos envolvidos, que se sentem ameaçados com as mudanças propostas.

Ainda assim, diante da dificuldade de se estabelecer uma efetiva gestão das mudanças, os benefícios atingidos no seu cumprimento proporcionam um retorno mais que satisfatório. A comunicação entre todos os envolvidos, a qualidade das informações, a análise preliminar de impactos, o planejamento da efetivação da mudança, justificam o desafio de buscar uma gestão efetiva do processo de mudança de engenharia.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPESP pela bolsa de mestrado e às empresas pela oportunidade de analisar os seus casos.

8. REFERÊNCIAS

- BALAKRISHNAN, N. and CHAKRAVARTY, A.K., 1996, "Managing engineering change market opportunities and manufacturing costs", *Production and Operation Management*, Vol. 5, No. 4, pp. 335-356.
- BALCERAK, K.J. and DALE, B.G., 1992, "Engineering change administration: the key issues", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 5, No. 2, pp. 125-132.
- BENEDETTO, H. and TRABASSO, L.G., 1997, "Proposal of a framework for efficient management of the engineering change (EC) process", XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM, Bauru, SP, Brasil.
- CARVALHO, S., 1999, "Engineering change management in the product development phase, an industrial case study", In: *Proceeding of European Concurrent Engineering Conference*, Erlangen-Nuremberg, Germany.
- DIPRIMA, M., 1982, "Engineering change control and implementation considerations", *Production and Inventory Management*, first quarter.
- HO, C.J., 1994, "Evaluating the impact of frequent engineering changes on MRP system performance", *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 3, pp. 619-641.
- HUANG, G. Q.; MAK, K. L., 1998, "Computer aids for engineering change control". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 76, pp. 187-191.
- HUANG, G.Q.; YEE, W.Y. and MAK, K.L., 2001, "Development of a web-based system for engineering change management", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, pp. 255-267.
- KRISHNAMURTHY, K. and LAW, K.H., 1995, "A data management model for design change control", *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol. 3, No. 4, pp. 329-343.
- LYON, D.D., 2000, "Practical CM: best configuration management practices". Butterworth-Heinemann, Oxford.
- LOCH, C.H. and TERWIESCH, C., 1999, "Accelerating the process of engineering change orders: capacity and congestion effects", *Journal of Production Innovation Management*, Vol. 16, pp. 145-159.
- MARTEL, R., 1985, "Reduction in lead time does make the difference in profitable operations", *Industrial Engineering*, October.
- MAULL, R; et al, 1992, "The role of the bill-of-materials as a CAD/CAPM interface and the key importance of engineering change control", *Computing and Control Engineering Journal*, mar, pp. 63-70.
- MIL-HDBK-61, 1996, "Configuration management guidance", *Military Handbook/ Department of Defense*, USA.
- PIKOSZ, P. and MALMQVIST, J., 1998, "A comparative study of engineering change management in three Swedish engineering companies", *Anais do DETC 98, ASME Design Engineering Technical Conference*. Atlanta, set.
- REIDELBACH, M.A., 1991, "Engineering change management for long-lead-time production environments", *Production and Inventory Management Journal*, second quarter, pp. 84-88.
- SMITH, R.P. and EPPINGER, S.D., 1997, "Identifying controlling features of engineering design iteration", *Management Science*, Vol. 43, No. 3, pp. 276-293.
- SYAN, C.S. and MENON, 1994, "Concurrent engineering: concepts, implementation and practice" London, England, Chapman & Hall.
- TERWIESCH, C. and LOCH, C.H., 1999, "Managing the process of engineering change orders: the case of the climate control system in automobile development", *Journal of Production Innovation Management*, Vol. 16, pp. 160-172.
- WATTS. F.B., 1982, "Engineering changes: a case study", *Production and Inventory Management*, fourth quarter.
- WRIGHT, I.C., 1997, "A review of research into engineering change management: implications for product design", *Design Studies*, Vol. 18, pp. 33-42.

9. DIREITOS AUTORAIS

Henrique Rozenfeld e Lucas Cley da Horta

ENGINEERING CHANGE MANAGEMENT: CHARACTERIZATION AND CASE STUDY

Henrique Rozenfeld

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Depto. de Engenharia Mecânica, Av. Trabalhador São-carlense - 400 - Centro - CEP 13566-590 - São Carlos - SP, roz@sc.usp.br

Lucas Cley da Horta

Deloitte Consulting, Av. das Nações Unidas, 11633 – 19º andar – CEP 04578-000 – São Paulo – SP, lhorta@dc.com

***Summary.** The existence of modification in the product along the process of product development and of its life cycle it is an inevitable fact. The effective management of those changes, due to the current market competitiveness, becomes a necessity. Inside of this context, this work had as objective the characterization of the engineering change process, analyzing its dimensions, aspects and management practices, as during the product development process as during the product life cycle. Moreover, it tried to verify how the Brazilian companies accomplish this process.*

***Keywords:** engineering change management, configuration control, product development.*