

# **Proposição de um modelo para revisão formal de projeto a partir da sistematização do conhecimento da manufatura**

Marcelo Grijó Vilarouca, M.Eng. (UFSC) [mgrijovilarouca@ig.com.br](mailto:mgrijovilarouca@ig.com.br)  
Acires Dias, Dr. Eng. (UFSC) [acires@emc.ufsc.br](mailto:acires@emc.ufsc.br)

## **Resumo**

*No ramo industrial de componentes de plásticos injetados o desenvolvimento de produtos e moldes, de uma forma geral, tem a participação de outras empresas tanto no projeto do produto quanto do molde. Sendo esse desenvolvimento em ambiente de engenharia simultânea, há freqüentes problemas nas inter-relações que produzem falhas, na maioria das vezes, decorrentes da falta de processos apropriados para a avaliação das soluções de projeto proposto pelos parceiros. Nesse contexto, o presente trabalho propõe-se apresentar um modelo para realizar a revisão formal de projeto, suportado por listas de verificação estruturadas, cujo conteúdo é proveniente da sistematização do conhecimento existente no ambiente de manufatura. Estas listas foram produzidas para serem usadas pela equipe de desenvolvimento da empresa nas tarefas de avaliação das soluções de projeto do componente e do molde, para cada fase do processo de projeto. As listas foram elaboradas a partir do uso da técnica sistêmica de análise funcional (FAST) e análise dos modos de falhas e efeitos (FMEA) aplicados, em conjunto com projetistas, técnicos de processo, ferramenteiros e mantenedores, no processo de produção de produtos e de manutenção de moldes e máquinas de injeção de uma empresa do ramo eletro-eletrônico.*

*Palavras chave: Integração do projeto com a manufatura, Revisão formal de projeto, Listas de verificação estruturadas.*

## **1. Introdução**

Do ponto de vista do mercado, no contexto da indústria eletro-eletrônica, presencia-se cada vez mais um panorama de intensa concorrência, gerando a necessidade de busca incessante por competitividade dentro das organizações. Essa orientação mercadológica permeia a definição da estratégia empresarial e desdobra-se nos diversos processos organizacionais. Para o processo de desenvolvimento de produto, em geral, são requeridos prazos de desenvolvimentos cada vez mais curtos, produtos com qualidade, confiabilidade e baixo custo, entre outros. Por outro lado, o processo produtivo é demandado: pela eficiente utilização da capacidade instalada, baixos custos de produção, tempos de produção cada vez mais reduzidos, baixo nível de estoques e produção de produtos com qualidade. Entretanto, essas funções organizacionais não atuam independentemente, existe uma forte interdependência entre a forma que o processo de desenvolvimento de produto ocorre e a performance da manufatura.

Nesse contexto, esse trabalho visa apresentar uma proposta que possa efetivamente promover a integração entre o desenvolvimento de produto e a manufatura, para o domínio de componentes plásticos em indústria-eletrônica, motivado por dois aspectos relevantes:

–A importância do processo produtivo no âmbito do ciclo de vida do componente de plástico injetado justifica a proposição de uma sistemática formal, para o projeto de produto, como forma de assegurar que os projetos sejam adequadamente orientados às necessidades da manufatura, em termos de produtividade, custos e qualidade.

–Para esse setor industrial, o desenvolvimento do componente de plástico e molde de injeção representa em torno de 50-70% do investimento total realizado para um projeto de produto eletro-eletrônico.

## 2. Contextualização do PDP

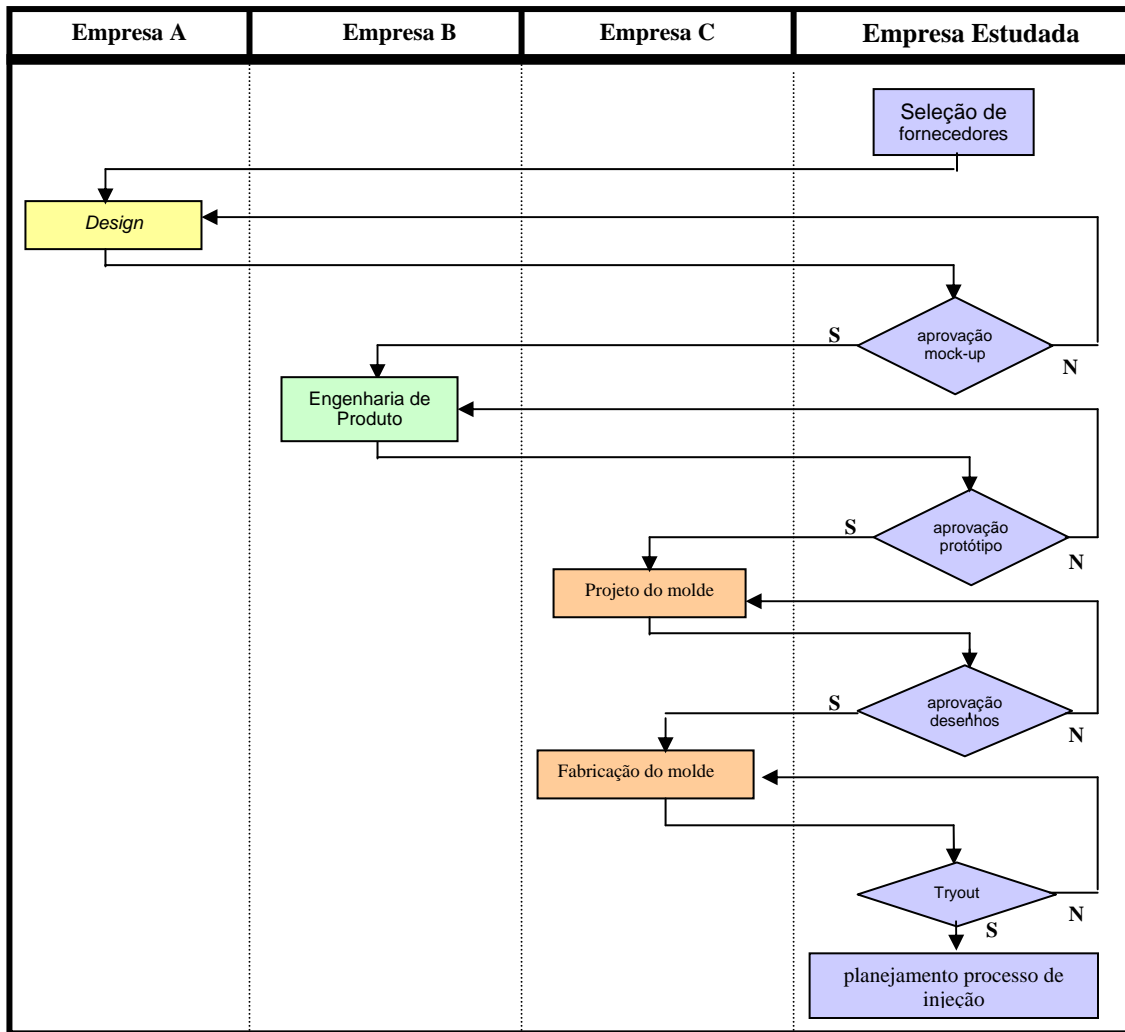
Vernadat (1996 *apud* Romano, 2003) estabelece um panorama dentro das organizações, onde poucos processos são formalizados e os procedimentos existentes não explicam como e porque o processo foi planejado de determinada maneira; em suma, o conhecimento sobre as atividades fica quase que exclusivamente de posse das pessoas que as executam. Essa informalidade do PDP nas organizações pode ser associada a própria complexidade intrínseca desse processo, decorrente, segundo Clark; Wheelwright (1992 *apud* Silva, 2001) do fato que a sua realização requer o emprego coordenado de conhecimentos de diversas áreas de engenharia, por meio de diferentes conceitos gerenciais, através uma visão sistêmica e integrada do negócio e relacionando-se pessoas de várias áreas funcionais.

No processo de projeto, essa “informalidade” é verificada como a não utilização de metodologia de projeto. Nesse sentido, Ogliari (1999) confirma que, muitas vezes, o processo de projeto ocorre sem o emprego efetivo da metodologia, desenvolvendo-se de modo “prático”, baseado nas repetições e experiências anteriores dos agentes de projeto. Assim, os elos de ligação são os agentes de projeto, no sentido de que eles são quem efetivamente definem pela utilização da metodologia no processo de projeto.

Para o setor de transformação de plástico, o ambiente de desenvolvimento de produto, pela característica inerente desse setor, é fragmentado entre diversas organizações, o que dificulta o emprego de metodologia e ferramentas de projeto, além da comunicação entre as interfaces. (FERREIRA, 2002; DARÉ, 2001).

O fluxo de desenvolvimento apresentado na Figura 1 retrata a característica de terceirização do projeto do componente de plástico (desenvolvendo separadamente forma e função, respectivamente nas atividades de *design* e engenharia de produto) e do molde de injeção. Nesse contexto, a empresa que produz os componentes não pode interferir na decisão do emprego da metodologia de projeto, haja vista que os agentes de projetos estão fora do seu domínio organizacional. Entretanto, observa-se que existem eventos, realizados e coordenados pela empresa produtora, nos quais ocorrem a validação das soluções de projeto apresentadas.

É nesse ponto que reside a contribuição do trabalho: dada as características intrínsecas de desenvolvimento desse setor, propõe-se uma sistemática que permita considerar as necessidades da manufatura, principalmente na definição da fase conceitual como também nas outras fases do processo, ao longo do projeto do componente de plástico e do molde de injeção. Assim, desenvolveram-se mecanismos de controle de acompanhamento do projeto do componente e do molde em função das características do sistema de produção e do planejamento da empresa, sem interferir nos processos dos parceiros.



Fonte: (Vilarouca, 2004)

Figura 1 – PDP de componente de plástico e molde de injeção

Para a integração da manufatura com o processo de projeto, estabelecem-se dois aspectos fundamentais, indicados na Figura 2:

- 1. Como capturar, formalizar e organizar o conhecimento dos especialistas, para posterior utilização no projeto de produto;
- 2. De que modo e em que momento esse conhecimento deve ser aplicado no PDP do componente de plástico injetado.

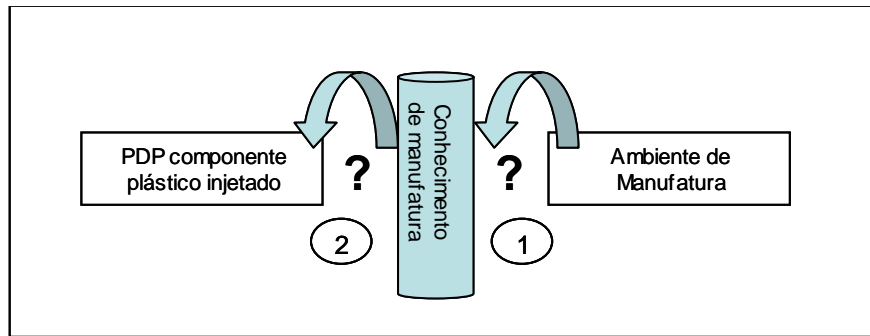


Figura 2 – Problemática para integração da manufatura com o projeto de produto

### 3. Modelo para Revisão Formal de Projeto

Uma vez que não se pode assegurar o emprego da metodologia de projeto, a proposta é contemplar as necessidades da manufatura nos marcos de avaliação de cada fase do projeto (Figura 1), através de uma sistemática formal. Dado o contexto organizacional das empresas transformadoras de plástico, considera-se como premissa para construção e implementação do modelo a disponibilidade de dados do “chão de fábrica” e utilização ferramentas de fácil aplicação nos marcos de avaliação do projeto.

O processo de avaliação das soluções concebidas ao longo de projeto é identificada na literatura como revisão de projeto, que Ichida (1996, p. 3) conceitua como o “julgamento e melhoria de um item na fase de projeto, revisando o projeto em termos de função, confiabilidade e outros atributos, com a participação dos especialistas no projeto, inspeção e implementação”. Quando essas avaliações ocorrem nos pontos chaves (também denominados na literatura com *stages gates*, *milestones* ou marcos de avaliação) do processo de projeto, são denominadas de revisões formais de projeto (BLANCHARD *et alli*, 1995; ICHIDA, 1996).

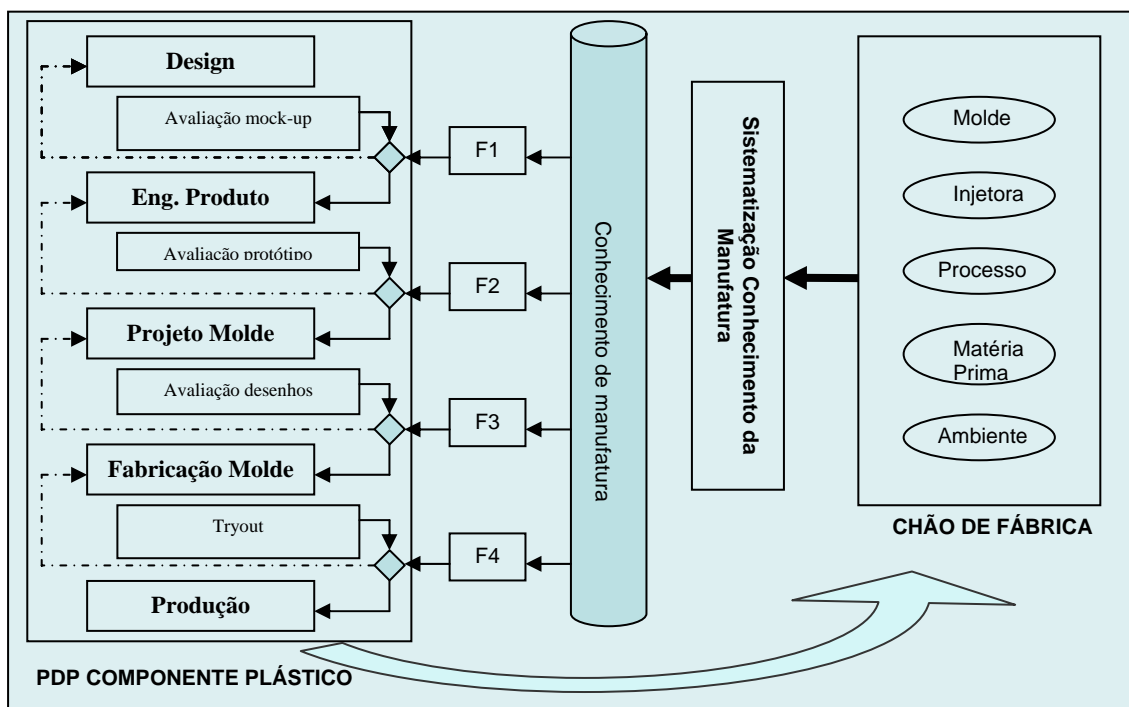
Para Blanchard *et alli* (1995), a revisão formal de projeto tem o objetivo de fornecer o mecanismo por meio do qual todos os membros responsáveis e interessados da equipe de projeto podem se reunir de modo coordenado, comunicar-se entre si e concordar com a abordagem recomendada. Segundo Ichida (1996), o número e as fases do processo de desenvolvimento de produto e das revisões de projeto variam segundo a empresa, sua política desenvolvimento, e em função também do tipo de produto.

Com relação ao método (ferramenta) empregado na revisão formal de projeto, Ichida (1996) apresenta uma pesquisa, realizada pela JUSE em 1987 junto às empresas japonesas, onde a grande maioria (82%) declarou utilizar listas de verificação. O autor entende que a razão desse resultado deve-se ao fato da lista de verificação ser uma das melhores ferramentas de organização para tarefas detalhadas e complexas.

Barkejian (1992) estabelece que as listas de verificação se transformam em procedimentos formais, sendo parte integrante do desenvolvimento de produto de cada empresa. O objetivo da lista de verificação é analisar se o projeto atende cada um dos itens avaliados, a partir da organização e categorização do conhecimento adquirido e formalizado através de regras e recomendações. A orientação de Ichida (1996) é que a lista de verificação deve ser ampla e detalhada o suficiente, sem tornar-se muito extensa.

A integração requerida entre a manufatura e o desenvolvimento de produto é representada Figura 3, onde se busca responder aos questionamentos (1) e (2) levantados a partir da Figura 2. O questionamento (1) é elucidado a partir do processo formal para sistematizar o conhecimento da manufatura, enquanto que questão (2) é esclarecida pela definição e emprego de ferramentas de revisão (cujo conteúdo é o conhecimento da manufatura) para suportar o processo decisório (“marcos de avaliação”) entre as fases do PDP do componente

de plástico injetado. Esse processo decisório, entre as possibilidades existentes, será estabelecido como revisão de projeto, realizada pela equipe de projeto da empresa e suportado por ferramentas de análise, nas atividades presentes ao final de cada fase: avaliação do *mock-up*, avaliação do protótipo funcional, avaliação do projeto do molde e validação do *try-out*. Essas ferramentas de análise, por sua vez, são as listas de verificação, representadas como as ferramentas F1 à F4 na Figura 3. Também se explicita, nessa figura, que ao final de um ciclo de desenvolvimento suportado pela proposição os novos componentes de plástico e moldes de injeção estarão, respectivamente, sendo produzidos e utilizados na manufatura, estabelecendo a perspectiva de retro-alimentação para a base de conhecimento de projeto, a partir de novas informações advindas da manufatura.



Fonte: (Vilarouca, 2004)

Figura 3 – Modelo para a revisão formal de projeto  
a partir da sistematização do conhecimento da manufatura

Em resumo, o modelo proposto fundamenta-se na aplicação de listas de verificação estruturadas, na revisão de projeto do componente de plástico e do molde de injeção. O conteúdo dessas listas de verificações foi obtido via uma sistemática de aquisição do conhecimento dos especialistas da manufatura e do projeto, através da utilização das ferramentas FMEA (*failure mode and effects analysis*), FAST (*functional analysis system technique*) e diagrama de Ishikawa. A orientação para aplicação dessas ferramentas foi o desdobramento do atributo “produtividade”: manufaturabilidade do componente de plástico injetado, confiabilidade e manutenibilidade do molde de injeção.

Para a realização da revisão de projeto, além das listas de verificação associadas, são requeridos: o protótipo funcional, para a fase de engenharia de produto, e os desenhos e lista de materiais do projeto do molde, na fase de projeto do molde.

A execução da revisão de projeto deve ser realizada como um processo decisório coletivo, envolvendo os especialistas das áreas de conhecimento associado ao desenvolvimento integrado do componente de plástico injetado. Portanto, além do projetista do molde, recomenda-se a participação de técnicos de processo, ferramenteiros e manutentores.

Outro aspecto fundamental é a definição clara do critério de aprovação do projeto. Esse critério deve ser estabelecido coerentemente com as metas exigidas em relação à produtividade da fábrica, entretanto, dados históricos somados à experiência dos especialistas auxiliam a definir essa métrica.

Para os itens avaliados que não atenderam às exigências estabelecidas na lista de verificação, deve-se averiguar o impacto (custo, tempo, risco, entre outros) para implementar a ação requerida (substituição, alteração, reprojeção, entre outros), possibilitando que o referido item esteja conforme.

Por considerar o processo de projeto em ambiente de engenharia simultânea, integrando o projeto do componente de plástico injetado com o posterior projeto e fabricação do molde (no qual se estabelece um alto grau de inter-relação), adotou-se, em nível de referencial teórico para a proposição apresentada, o modelo consensual (particularizado para o domínio de componente de plástico) estabelecido por Daré (2001).

#### **4. Implementação do Modelo Proposto**

Para o contexto da empresa estudada, foi proposta a execução de duas revisões de projeto: ao final das fases “engenharia de produto” e “projeto de molde” (conforme Figura 3). Em função de não haver nenhum desenvolvimento corrente de componente de plástico, estabeleceu-se que as revisões de projeto seriam aplicadas a produtos e moldes existentes. Nesse sentido, foram selecionados dois moldes, com desempenhos operacionais distintos, definidos a partir da visão dos especialistas (molde “bom” e molde “ruim”).

Um grupo formado por técnicos, manutentores e projetistas, separados em 2 equipes, procedeu a revisão de projeto de 3 componentes plásticos, sendo 2 componentes produzidos pelo molde “bom” e o outro, pelo molde “ruim”. Para a avaliação, foram utilizados os próprios componentes injetados. O tempo total consumido para a revisão desses componentes foi de 2 horas.

Para a revisão de projeto dos moldes, a avaliação foi feita por duas equipes independentes (compostas por ferramenteiros e projetistas), cada uma avaliando um dos moldes, utilizando o projeto (desenho do molde e lista de materiais) e verificando *in loco* o molde desmontado. As revisões duraram em média 1 hora e meia. Em relação ao projeto do molde “bom”, 83% dos itens avaliados foram atendidos, enquanto que para o molde “ruim” o percentual de atendimento foi de 65%.

A partir dos resultados observados nas revisões de projeto de moldes realizadas, buscou-se na base de dados do sistema informatizado da manutenção (da área de ferramentaria) da empresa estudada informações históricas referentes às manutenções corretivas realizadas nos dois moldes submetidos à avaliação. A proposta era de estabelecer uma confrontação direta entre o resultado final da simulação das revisões de projeto e os problemas detectados na operação, através do número de manutenções não planejadas e outras métricas de desempenho associadas da manutenção. Para o período analisado de 10 meses, no qual houve grande utilização da capacidade instalada, observou-se que o tempo médio entre falhas do molde “bom” foi quase cinco vezes maior que no molde “ruim”. Em números absolutos, durante esse período, o molde “bom” demandou cerca 23 horas de manutenção não planejada, enquanto que o molde “ruim” necessitou de aproximadamente 120 horas. Infere-se que, em sendo igual para ambos os moldes: a condição ambiental, o estado da matéria-prima, a parametrização de processo, o estado de operação da máquina injetora e as equipes de manutenção e processo, essa diferença estabelecida está associada ao projeto do molde, dado que o molde “bom” conseguiu o atendimento de 83% dos itens da lista de verificação, enquanto que o molde “ruim” não ultrapassou 65%.

## 5. Conclusões

A partir da implementação da revisão de projeto na empresa estudada, observou-se que a responsabilidade de aprovação do projeto passou a ser compartilhada. A participação dos agentes da manufatura nesse processo decisório fez com que a carga de trabalho da avaliação ficasse distribuída e delegada aos especialistas que tem melhor capacidade de contribuição. Cria-se uma cultura de processo decisório coletivo, de caráter preventivo e sistêmico, relevando as diferentes especialidades do domínio de componentes plásticos e fortalecendo o poder de decisão do grupo multifuncional (Engenharia Simultânea). Entende-se como diferencial para minimizar as dificuldades inerentes a uma implementação, na proposta apresentada, o fato dos diversos especialistas terem participado de todo o processo de implementação do modelo, desde a sistematização do conhecimento da manufatura até a revisão formal de projeto, auxiliando a construir, organizar e aplicar no projeto o conhecimento do chão de fábrica.

A lista de verificação demonstrou ser uma ferramenta de análise que prima pela praticidade e simplicidade. A sua estruturação é fundamental, isso proporciona que o seu conteúdo tenha a abrangência (várias categorias) e profundidade (várias verificações na categoria) suficientes para sua contribuição como instrumento de aprovação de fase do processo de projeto. Como resultado da aplicação, no presente trabalho, permitiu que a probabilidade de falha ou problemas do molde de injeção, em relação a sua operação ou manutenção, fosse formalizado, por exemplo, em aproximadamente 120 itens de verificação para o projeto do molde, cujo tempo para a avaliação demandou em torno de uma hora e meia.

Identificou-se, durante a implementação, que as listas podem ser utilizadas também como uma documentação de referência no início de cada fase (engenharia de produto e projeto de molde), indicando aos fornecedores selecionados quais serão os critérios adotados para aprovação do projeto a ser desenvolvido, em relação à produtividade. A principal vantagem é de minimizar o retrabalho e correções no projeto, caso os itens da lista de verificação não forem atendidos.

O desenvolvimento da proposição, para o domínio de componente de plástico injetado, fundamentou-se em alguns aspectos, dos quais destacam-se: aplicação em organizações que possuam ou não o PDP estruturado, trabalhando em ambiente de engenharia simultânea e que utilizem os marcos de avaliação ao longo do projeto como mecanismo de validação do projeto do componente e do molde, facilidade na implementação e no uso corrente dentro da organização.

Dessa forma, a mesma pode ser empregada em empresas cujo processo de desenvolvimento de componente de plástico e molde está integrado, está claramente definido e consolidado, em relação às fases e tarefas do processo, e que não utilizam a ferramenta “lista de verificação estruturada” para realizar uma revisão formal do projeto. Por outro lado, aquelas empresas em que não existe o formalismo em relação ao PDP, a proposição estabelece uma perspectiva de auferir um resultado relativo muito mais significativo, haja vista a tendência, nesse contexto, da integração da manufatura com o processo de projeto ser praticamente nula. Então, a revisão formal de projeto atua como um mecanismo, um filtro para evitar que problemas e falhas já conhecidos, e que afetam a produtividade da fábrica, possam reincidir nos novos e futuros desenvolvimentos de produtos.

Ao se desenvolver um pouco mais a análise da importância da produtividade no âmbito do projeto a partir da avaliação dos resultados obtidos na revisão do projeto dos moldes, associada com o desempenho operacional dos moldes, pode-se fazer a seguinte inferência:

– Considere-se que o molde “bom” é o ideal, representando o limite em termos de confiabilidade e manutenibilidade.

- Uma empresa, nesse campo industrial, tem centenas de moldes
- Não há um método apropriado para a análise, logo a possibilidade de sucesso no projeto é de 50%.

Logo, se entre o molde ideal e a pior situação for assumido sua representação na forma de uma distribuição normal, então no período a ser considerado de trabalho, pode-se ter em média 70 horas de manutenção para cada molde, o que significa ter em torno de 5.000 horas de manutenção a mais para o conjunto de cada 100 moldes, em relação ao molde considerado ideal. Essa inferência está apenas considerando o impacto negativo em relação a condição operacional do molde; associa-se a essa análise, como outras consequências decorrentes do não atendimento das necessidades da manufatura no projeto: a perda de produtividade, a perda de qualidade (em algumas situações, até que a falha se torne explícita muitas peças defeituosas já foram produzidas) e o aumento dos custos de manutenção e de operação.

Considerando a repercussão disso na produção, montagem e algumas vezes, o que isso gera no mercado, ou seja, no cliente final, pode-se concluir que o empenho demandado nessa proposição por certo não resolve todos os problemas apontados, mas é um passo importante para gerar uma cultura de contabilizar as consequências decorrentes da falta de formalização ou ausência da revisão de projeto, no âmbito do processo de desenvolvimento de produto.

## Referências

- BARKEJIAN, R. (1992) - *Tool and Manufacturing engineers handbook. fourth edition, V. VI, design for manufacturability*. Society of Manufacturing Engineers. United States
- BLANCHARD, B.S.; VERMA, D.; PETERSON, E.L. (1995) - *Maintanability: a key to effective serviceability and maintenance management*. John Wiley & Sons, Inc. United States.
- DARÉ, G. (2001) - *Proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento integrado de componentes de plástico injetado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FERREIRA, C.V. (2002) - *Metodologia para as fases de projeto informacional e conceitual de componentes de plástico injetados integrando os processos de projeto e estimativa de custos*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ICHIDA, T. (1996) – *Product design review:a method for error-free product development*. Productivity Press. United States.
- OGLIARI, A. (1999) - *Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ROMANO, L. N. (2003) - *Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SILVA, S.L. & ROZENFELD, H. (2001) – Proposta de uma ferramenta de diagnóstico da gestão do conhecimento no processo de desenvolvimento de produto. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3, Florianópolis Anais... Florianópolis:UFSC, 2001. 8p. CD-ROM:il.
- VILAROUCA, M. G. (2004) - *Sistematização do Conhecimento da Manufatura para uso na Revisão Formal de Projeto: uma aplicação no domínio de componentes de plásticos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.