



Produto & Produção, vol. 10, n. 1, p. 75 - 84, fev. 2009

## **Exemplos de aplicação do conceito de fábrica digital no planejamento de instalações para armação de carroçarias na indústria automobilística brasileira**

**Olavo Cardoso Vidal**

Volkswagen do Brasil Ltda.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Paulo Carlos Kaminski**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Sheila Nicolini Netto**

T-Systems

O acirramento da concorrência impõe à indústria automobilística a busca por alternativas que criem condições para as empresas desenvolverem produtos dotados de inovações tecnológicas, confiáveis, com preços inferiores ao praticado pelos concorrentes e lançados em prazos cada vez mais curtos. Este trabalho procura mostrar que com foco, basicamente, em duas características: tempo e investimento para o desenvolvimento e lançamento de novos produtos, são atribuições da Engenharia de Manufatura planejar e projetar uma nova instalação para o produto desenvolvido, respeitando estratégias e objetivos, definidos como premissas de programa. Como alternativa para execução destas atividades propõe-se uso do conceito da Fábrica Digital. As ferramentas que compõem a Fábrica Digital possibilitam uma avaliação mais precisa do trabalho a ser executado, antecipam soluções, evitam modificações nas fases de implantação e, principalmente, reduzem investimentos e o tempo para colocação em funcionamento de novos modelos. Como exemplos de utilização deste conceito, são apresentados dois estudos de casos: modelos Polo e Fox, na área de armação de carroçarias da Volkswagen do Brasil.

The automotive industry has been pushed by the increased competition to find out options which make it possible to offer to the market reliable and technologically innovative products that meet the requirements of their customers, at lower prices than their competitors. Those features create a scenario that demands a reduced cycle-life of products. The consequence of that situation is the constant search for alternatives to reduce new product development time. Manufacturing Engineering is responsible for planning and designing the new installations to produce the vehicle according to the company's objectives and strategies - defined as program premises - concentrating in two main characteristics: investments and time of implementation. As an alternative to perform these activities, the concept of Digital Factory can be applied. This work will discuss examples and two cases in Volkswagen do Brasil Body Shop area: the models Polo and Fox. By applying the softwares that compose the Digital Factory it is possible to make an accurate evaluation of the project to be implemented, anticipating solutions, and thus avoiding corrections during implementation phases and mainly reducing investments and time to start-up the lines, considering the range of models to be produced.

### **1 Introdução**

---

A indústria automobilística, desde os anos 80, vem se deparando com o crescente aumento da concorrência entre as várias empresas deste setor. Reforçando esta idéia, Womack et al. (1992) apontam o excesso de capacidade das indústrias automobilísticas e o crescimento de indústrias em países emergentes. Bolwijn e Kumpe, (1990) e Muscat e Fleury (1993) citam em suas obras, que algumas variáveis (chamadas de competências) devem estar incorporadas em todos os processos e estabelecem as condições mínimas para a permanência no mercado. São elas: custo, qualidade, flexibilidade, tempo e inovação. Pine et al. (1993), apontam uma visão definida pela NISSAN para o século XXI: cinco A's ("anytime,

*anyvolume, anybody, anywhere and anything*”), ou seja, a qualquer momento, em qualquer volume, qualquer pessoa, em qualquer lugar e qualquer coisa. Fischer et al. (2000), apontam também, que o acirramento da concorrência internacional tem levado à uma situação, onde inovação, qualidade e capacidade para reagir às variações de mercado são condições de sucesso da empresa.

## 2 Desenvolvimento de Novos Produtos

---

Diante do cenário apresentado, há a necessidade de buscar alternativas para reduzir o prazo para lançamento de novos produtos dotados de inovações, que atendem às expectativas dos consumidores nas características de *design*, rendimento, conforto, desenvolvidos cada vez em prazos menores e com preços que o mercado está disposto a pagar. Como desenvolver um novo automóvel é uma atividade multifuncional, que envolve várias áreas da empresa e, muitas vezes, outras empresas, além de profissionais e competências há a necessidade de integrar, desde o início, os profissionais envolvidos. Assim, alternativas como a Engenharia Simultânea, apresentada por Evans (1988), é uma ferramenta importante para as empresas que desenvolvem novos projetos.

Ainda considerando atender às expectativas dos clientes, outra ferramenta deve ser destacada: o *Quality Function Deployment* (QFD), que tem como principal finalidade o aperfeiçoamento do ciclo de desenvolvimento e consiste em apresentar, as avaliações, necessidades e problemas a serem sanadas no desenvolvimento de um novo produto, a partir dos problemas e reclamações existentes (SCHÖLER, 1993).

## 3 Fases de Desenvolvimento

---

Na escala de tempo, que varia de projeto para projeto (de acordo com a complexidade), desenvolver um produto passa pelas seguintes fases:

1. levantamento de informações que constituirão as premissas do programa;
2. análise de viabilidade;
3. definição de produto;
4. detalhamento dos produtos e
5. detalhamento de processos e fabricação.

As premissas de programa são as informações, que constituem uma base para o desenvolvimento de um novo produto. São as características que o produto deve oferecer, baseadas em históricos de desenvolvimentos anteriores, através de pesquisas de mercado, análise da concorrência, aprimoramentos e desenvolvimentos internos e em parceria com fornecedores. Também fazem parte, as normas, que regem tanto nos requisitos de segurança, legislação (externos à companhia), como as que se referem à qualidade (internos à companhia). Há ainda as características que dizem respeito ao volume de produção, local a ser produzido e mercados de destino.

Todo esse conjunto de informações constitui a base de dados (Figura 1) e servem para uma estimativa do custo de desenvolvimento e cálculo da viabilidade do programa.

Os vários setores e departamentos da empresa, de posse das Premissas de Programa, apresentam os custos estimados necessários para os detalhamentos, planejamento e desenvolvimentos avançados, testes, implantação das linhas de manufatura, gastos com pessoal, entre outros.

Com base em estudos econômicos, pode-se fazer necessário rever o conjunto de premissas e novas rodadas de cálculos de investimentos são realizadas até que, atinja-se um custo por veículo que represente uma relação satisfatória para a companhia. Como exemplos da geração de novas premissas, podem ser

reduzidas as variações de modelos, eliminados itens de acabamento, revisados graus de automação, locais a serem produzidos, logísticas empregadas, entre outras.

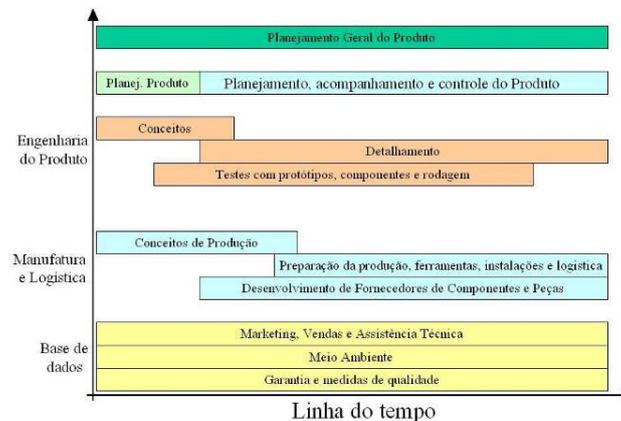


Figura 1 - Fases de desenvolvimento de produto

Quando a meta do custo deste desenvolvimento é atingida, viabilizando o programa, iniciam-se as atividades de definição do produto.

Uma vez estabelecidas características que definem a estratégia do novo produto, como modelos e variações, forma-se um novo conjunto de premissas. Este conjunto de características denomina-se Definições de Produto e constituem a primeira viabilização para que se inicie o detalhamento do produto e, por conseguinte, do processo.

Na fase de detalhamento de produtos e processos há a definição dos componentes, estruturas, sistemas e peças que permitirão à Engenharia de Manufatura definir como serão estampadas as peças, armados os conjuntos (carroçaria) e montados os vários componentes. Além de, obviamente, possibilitar o detalhamento de meios e sistemas de controles, sincronizadores de formação de conjuntos, fluxos logísticos e processos. Fica evidente a necessidade de criar uma maior proximidade entre as atividades das Engenharias de Produto e Manufatura, desde as primeiras fases do desenvolvimento para buscar a simplificação do produto e, conseqüentemente, propiciar a redução de complexidades na manufatura, com processos mais simples, menores investimentos e prazos para implantação da fabricação.

Finalmente na última fase, uma vez que foram definidos todos os processos, implantadas as linhas, atingidas as características de qualidade e desempenho necessárias, inicia-se a fabricação, normalmente, a partir de uma curva de aceleração. Ou seja, paulatinamente as quantidades produzidas vão aumentando até atingir a capacidade da linha ou a quantidade que o mercado solicita.

#### 4 Pressão Mercadológica e Papel da Engenharia de Manufatura

Conforme já apresentado, a pressão quanto a se obter um ciclo de desenvolvimento mais curto, tendo ainda como resultado um produto que atenda às necessidades e desejos dos clientes, que seja confiável, leva à busca por alternativas que aperfeiçoem todo o processo.

Ponto fundamental em toda a cadeia, a manufatura deve ser planejada e desenvolvida para que: possam ser produzidas todas as variações definidas, com prazo reduzido para disponibilizar o produto no mercado, dotado de características qualitativas, dentro das variações aceitáveis, com processos claros e à prova de erros. Os investimentos para atingir todas estas características devem estar dentro dos valores esperados

no início do desenvolvimento e o prazo para se efetivar as linhas de acordo com as expectativas e objetivos da companhia.

Resumindo, na manufatura devem estar presentes as seguintes características: flexibilidade, qualidade, prazo e custos.

## **5 Planejamento e Projeto de Novas Instalações**

---

Freeman (2004) aponta para uma atenção maior em antecipar as boas decisões para efetivar benefícios futuros. Assim, as decisões que envolvem a manufatura quando tomadas mais próximas às fases mais iniciais do desenvolvimento do produto podem trazer ganhos significativos para a companhia com a redução de investimentos e antecipação dos detalhamentos de uma nova linha de fabricação.

Uma alteração de produto, quando realizada em fases mais avançadas do seu desenvolvimento pode provocar gastos extremamente altos, quão maior forem os processos já implantados. Dessa forma, a participação da manufatura desde os primeiros momentos do desenvolvimento do produto é primordial. Nas fases iniciais de desenvolvimento e planejamento do produto, algumas premissas são estabelecidas e direcionam todo o trabalho da Engenharia de Manufatura. Entre elas podem ser citadas: área a ser ocupada, investimento esperado, grau de automação, prazo de implantação, grau de qualidade a ser atingido, tecnologias a serem empregadas, quantidade a ser produzida, tempo de ciclo, rendimento técnico esperado.

O desenvolvimento das atividades da Engenharia de Manufatura evolui de acordo com o desenvolvimento do produto. Como trabalho final, as seguintes atividades compõem o escopo de trabalho para o desenvolvimento final do processo de manufatura:

- *layout* – disposição dos dispositivos, peças a serem processadas, peças processadas, ferramentas, robôs;
- projeto de instalações e dispositivos – detalhamento da instalação e dispositivos para garantir a execução da operação, dentro dos requisitos de qualidade e tempo além de garantir condições ergonômicas para operações manuais;
- definição de mão-de-obra – dimensionamento da força de trabalho para execução das operações, logística e outros trabalhos de suporte, como manutenção e controle;
- estoque intermediário – quantidade de produtos que garantirão paradas ou interrupções em um determinado posto amortizando o impacto no fluxo logístico;
- logística – ruas de abastecimentos, frequência de abastecimento e posicionamento de estoques;

## **6 Fábrica Digital**

---

Da mesma forma que os processos de Engenharia Simultânea e QFD, aperfeiçoam o desenvolvimento do produto, encurtando o período para conclusão de todo o trabalho e levam ao produto as características esperadas pelo mercado. A Fábrica Digital é uma poderosa ferramenta para o planejamento das ações da Engenharia de Manufatura. Constitui-se em vários *softwares* que possibilitam avaliar o desenvolvimento de meios de fabricação adequados aos produtos que serão fabricados, simular o rendimento das linhas de fabricação, avaliar as operações ergonomicamente e, em situações nas quais são utilizados robôs, aplicar as melhores geometrias das ferramentas para evitar perdas de tempo nas movimentações ou não execução das várias atividades esperadas.

Aumento da segurança no desenvolvimento das instalações, em menor tempo, objetivando o aumento da produtividade são as expectativas quanto à Fábrica Digital (MENGES, 2005). Objetivo da Fábrica Digital é, através de simulações, alcançar o ótimo no desenvolvimento dos processos e nos dispositivos, usando como base os modelos de produto dos desenvolvimentos digitais (HAEPP; GERING, 2002). Como exemplos das simulações, podem ser avaliadas as características ergonômicas da operação,

quando realizada manualmente, alcance dos robôs nos pontos de solda ou nas atividades de transferência, rendimento operacional da linha, entre outros.

Durante a fase de planejamento do produto, as várias investigações executadas através das simulações, possibilitam que o desenvolvimento do produto convirja no sentido de garantir uma melhor manufaturabilidade reduzindo-se os investimentos para o projeto e planejamento das linhas de fabricação.

Outro fator determinante para utilização das ferramentas de Fábrica Digital está ligado à preservação do capital intelectual da empresa, uma vez que faz parte deste conceito a utilização de sistemas que gerenciam, organizam e distribuem as informações de um projeto entre os membros da equipe, possibilitando a utilização desta base de dados em projetos futuros.

A simulação virtual, para os desenvolvimentos elucidados, tem aplicação em toda a cadeia produtiva na indústria automobilística, desde o desenvolvimento de ferramentas para estampar peças, armação de carroçarias, montagem e desenvolvimentos de moldes para produtos injetados. Este trabalho visa discutir o emprego deste conceito, exclusivamente na Armação de Carroçarias.

## **7 Aplicação na Armação de Carroçarias**

---

Os, cada vez menores, ciclos de desenvolvimento de produtos, impõem novos desafios para o planejamento das instalações na Armação de Carroçarias (HERRMANN et al., 2004). Buscar soluções que reduzam o tempo para desenvolver uma nova linha, planejar, prever e controlar a complexidade na formação das variações de produto e, numa visão mais precisa, garantir, dispositivo por dispositivo, operação por operação, o atendimento dos requisitos de processo, é uma tarefa bastante complexa e, dentro de um desenvolvimento convencional, requer muito tempo.

Como alternativa, se o início do projeto das instalações e meios de produção é disparado tão logo haja modelos matemáticos dos produtos, o ciclo pode ser reduzido abruptamente. Com o uso das simulações, podem ser identificadas e encontradas garantias para certificar a plena administração e controle das complexidades, como também podem ser geradas propostas de alteração dos produtos, para diminuir as diversificações ou variações de características que podem ser comunicadas, simplificando o projeto da manufatura.

Como investimento tem se tornado item diferencial para a sobrevivência das companhias, se alterações nas fases iniciais de desenvolvimento são vislumbradas, o resultado final pode ser favoravelmente afetado. Menges (2005) aponta que as reduções podem chegar até a 40% dos investimentos na produção, sendo que estes custos representam cerca de 30% no preço final do produto. Exemplos de aplicação são encontrados em quase todas as montadoras, nos casos relatados por empresas como a Opel, BMW, Daimler Chrysler.

Para se cumprir as várias etapas e manter o planejamento dentro das premissas estabelecidas, algumas ferramentas e *softwares* são empregados para evitar, principalmente, o alongamento nos prazos e, conseqüentemente, garantir uma quantidade de erros menor na fase de implantação. Podem ser citados:

- *softwares* para elaboração de *layouts* – representando as áreas a serem ocupadas pela nova linha, definindo para o projeto da linha: infra-estrutura necessária, eventual ampliação predial, desocupações.
- *softwares* para simular trabalhos em áreas automatizadas com robôs – podem, principalmente serem utilizados para definir se determinada operação é mais vantajosa para ser realizada com uso de robôs devido a questões ergonômicas, qualidade e segurança.
- *softwares* para simulação operacional e logístico – determinando estoques para amenizar paradas de

linhas, bem como definir quantas posições devem ser ocupadas e locais que garantirão a manutenção do fluxo produtivo.

- *softwares* para projetos de meios e dispositivos usando-se dados matemáticos do produto – detalhar apoios, fechamentos para garantir estabilidades dimensionais e correções, bem como definir acessos das ferramentas e ergonomia para o caso de dispositivos manuais.
- *softwares* para projetos de documentos e instruções de trabalho – controlando indicações para a execução correta das operações, componentes a serem soldados e aplicação correta de massas, adesivos ou outros materiais necessários na formação de um conjunto.
- *softwares* para gerenciamento de processos – centralizando todas as informações relevantes do processo de manufatura de um produto, através da co-relação entre produto, processos e recursos. Possibilita ainda a interação com os sistemas de simulação, fornecendo dados não gráficos como tempo de fabricação, mão de obra necessária, entre outros;
- planilhas financeiras e de acompanhamento dos trabalhos – para controle de todas as atividades discutidas e devido acompanhamento no andamento dos trabalhos.

## 8 Exemplos de Aplicações: Dois Casos Brasileiros

---

Em duas situações distintas, foram aplicados os conceitos de Fábrica Digital na Volkswagen do Brasil. A primeira utilização se deu entre 1999 e 2002, quando foram planejadas, projetadas e instaladas as linhas do Polo, na planta da Anchieta em São Bernardo do Campo. Assim como em toda a linha de desenvolvimento do produto, no planejamento das linhas de Armação de Carroçarias foram buscadas aplicações de tecnologias, processos e componentes mais modernos conhecidos. Desta forma, também foi utilizado o conceito de Fábrica Digital, que estava sendo desenvolvido em Wolfsburg, na Alemanha. Todos os projetos para desenvolver a linha, foram realizados por empresas alemãs, com acompanhamento dos engenheiros brasileiros e coordenação da Engenharia de Manufatura alemã, buscando sinergia com outras plantas que também iriam fabricar os modelos Polo (Pamplona, Bratislava, Shanghai e Africa do Sul, bem como Mlada Boleslav, que produz modelo da linha Skoda com mesmo conceito e plataforma do Polo, além de Barcelona, na aplicação para a marca SEAT). Em princípio, foram simuladas todas as linhas automáticas em *softwares* para desenvolver *layouts*, para estudo com robôs e cálculos de rendimento. Também, principalmente, no projeto de meios de produção. Já na segunda aplicação, modelos da linha Fox, exceto cálculos de rendimento os conceitos também foram aplicados. Porém, a maior parte do projeto (cerca de 90%), foi desenvolvida e executada no Brasil. Desta vez, todo o gerenciamento coube à Engenharia de Manufatura da Volkswagen do Brasil. Isto foi consequência direta da experiência e aprendizados adquiridos no projeto Polo. Ou seja, a competência adquirida no projeto anterior permitiu que todo o processo tivesse a coordenação dos engenheiros brasileiros.

O custo de planejamento caiu, comparando-se as duas aplicações, em mais de 60% e revelou potencial extremamente grande para desenvolver e colocar o departamento brasileiro em condições de concorrer com outros do grupo Volkswagen em qualquer projeto mundial.

Outro ponto interessante a se considerar, além do desenvolvimento das ferramentas da Fábrica Digital e o resultado financeiro do domínio adquirido e aplicado no projeto nacional, foi a criação de uma base de informações que permitiu, com o crescimento da demanda do modelo no Brasil e com a possibilidade de exportação, desenvolver novos estudos para ampliar a capacidade das instalações. Outra consequência direta foi a redução no tempo de desenvolvimento do projeto em torno de 50%, com redução na implementação em 60%. Além da necessidade de baixo investimento.

Todas as soluções foram direcionadas aos pontos críticos do processo, uma vez conhecida a base de informações e por ter sido desenvolvido pela mesma equipe que havia projetada a primeira fase de instalação.

A redução dos investimentos e dos prazos viabilizou um terceiro projeto que foi a adaptação do modelo FOX na linha do Polo, utilizando-se da mesma forma, do conjunto de dados e experiência adquirida pela Engenharia de Manufatura no acompanhamento do projeto Polo e também, do que já havia sido desenvolvido para o modelo FOX em Curitiba. A combinação do conhecimento de como eram as linhas do modelo Polo com o que deve ser feito para o modelo FOX, permitiu antecipar o prazo previsto para o lançamento em cerca de 3 meses.

Outra possibilidade levantada nesta seqüência de projetos foi: conhecendo-se as instalações que devem ser adaptadas, reduzir o investimento, com reaproveitamento de estruturas, infra-estruturas e com adaptações nos dispositivos e meios existentes.

Um ponto fundamental em todo o projeto FOX foi, além do desenvolvimento dos conceitos de manufatura ser realizados no Brasil, o desenvolvimento do produto em si, como resultado dos trabalhos desenvolvidos na Engenharia Brasileira da Volkswagen. E, a garantia de um produto com menores variações e de uma melhor facilidade no controle das complexidades da linha foram efeitos diretos da aplicação dos conceitos da Fábrica Digital. Três grupos de soluções podem ser mencionados:

- verificou-se que pequenas alterações que não comprometeriam as funções do produto, representariam reduções de investimento e aumento da qualidade, bem como simplificação dos controles para produzir variações dos modelos. Pode ser citado como exemplo: Crossfox versão nacional, que teve um corte realizado após a montagem do conjunto lateral, evitando que fosse introduzido o corte na peça unitária, gerando complexidades e dificuldades para garantir a qualidade (Figura 2);



Figura 2 - Aplicação de corte a plasma no Crossfox

- várias adaptações no produto, para buscar variações de modelos, também foram viabilizadas quando se identificou a possibilidade de prover alterações nas linhas, pois havia uma base consistente de informações. Obviamente, sem que fossem criadas dificuldades adicionais para controle da produção ou que fossem permitidas montagens incorretas, seja pela falta de meios que fossem à prova deste tipo de falhas, seja por dificuldades de se identificar claramente quais eram as diferenciações. Exemplo: as várias versões de laterais que foram introduzidas para atender os diversos modelos da linha Fox. Como observação, havia sido prevista a introdução de apenas dois tipos diferentes (versões 2 e 4 portas para o mercado nacional). Após os trabalhos aplicando o conceito de Fábrica Digital, foram encontradas alternativas que permitiram introduzir outras três: 2 portas versão exportação, 2 portas Crossfox e 4 portas Crossfox (Figura 3).

- o produto foi adaptado aos dispositivos, equipamentos e linha existentes, preservando características dos produtos anteriormente fabricados e cujos equipamentos foram reaproveitados. Como exemplo, os pontos de apoio para transporte foram mantidos do Polo (Figura 4).

Algumas variações de modelos Fox, também se efetivaram quando, em um trabalho sinérgico das duas engenharias (produto e manufatura), identificou-se levar alterações de um subconjunto para fases mais avançadas na Armação da Carroçaria. Para elucidar alterações deste tipo, pode ser estabelecido o seguinte raciocínio: uma carroçaria é formada por uma série de conjuntos, estes de subconjuntos e finalmente por peças ou componentes. Se uma peça ou componente é alterado, gerando um segundo, gera-se outro grupo de subconjuntos, estes conjuntos e estes outras carroçarias. A complexidade é aumentada em toda a linha.

Assim, se a variação puder ser levada para situações mais finais do produto, na sua montagem, a complexidade na linha será reduzida, nos pontos mais avançados dela. Como exemplo: o Crossfox versão exportação teve uma seqüência de furos que eram realizadas na peça unitária, transferidos para o conjunto carroçaria. Isto viabilizou criar a chance de introduzir detalhes de acabamento nos modelos fora desta linha do Crossfox (Figura 5).

O resultado final desta sinergia foi proporcionar e efetivar as variações necessárias dos produtos, definindo melhor em que nível de execução do produto é mais interessante a implantação.

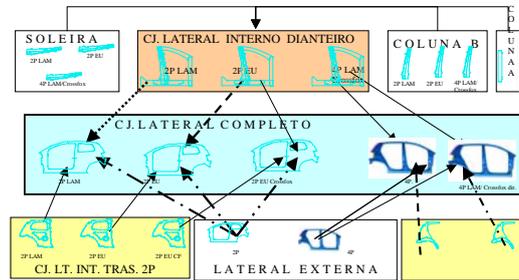


Figura 3 - Total de laterais produzidas

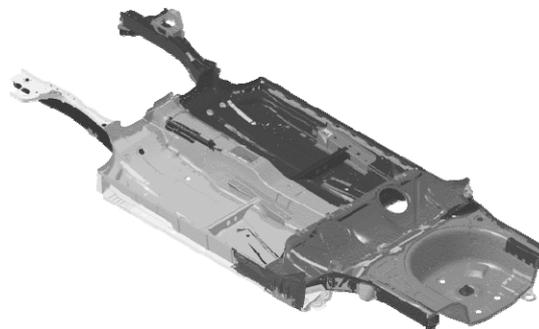


Figura 4 - Furos utilizados para transporte da carroçaria

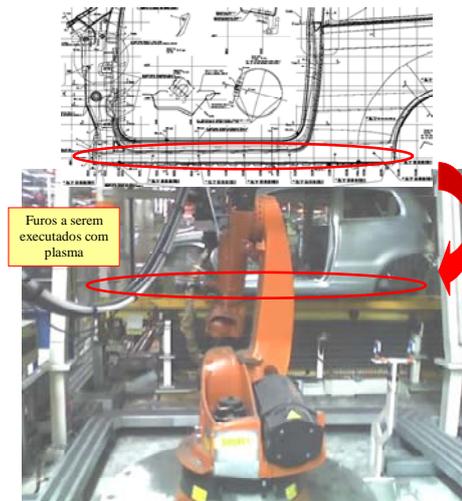


Figura 5 - Furação na região da soleira para o Crossfox

## 5 Conclusão

---

O desenvolvimento, domínio e aplicação das ferramentas, tecnologia e conceitos da Fábrica Digital, possibilitam reduzir investimentos e prazos para desenvolvimento de produtos e processos, além de formar, efetivamente, um diferencial da empresa que o aplica, tanto dentro do próprio grupo que ela participa, como frente à concorrência.

Outra vantagem é, em conjunto com a Engenharia do Produto, conceber um produto melhor manufaturável, mais enxuto e com menor necessidade da existência de controles pelas diferenciações. Ou quando elas existirem, procurando levá-las em fases finais de formação do produto.

Nos exemplos apresentados, para os modelos Polo e Fox, a aplicação dos conceitos e *softwares* da Fábrica Digital permitiu desenvolver soluções que resultaram na redução da complexidade na manufatura, com modificações nos produtos, no melhor desenvolvimento dos processos e, por conseguinte, na possibilidade de planejar um melhor controle e gerenciamento dos diversos modelos a serem fabricados.

Avaliando-se as vantagens da aplicação dos conceitos da Fábrica Digital, outro ponto a ser destacado é: através de uma integração dos vários *softwares* e sistemas, novos estudos e desenvolvimentos tornar-se-ão mais rápidos, buscando-se em bancos de informações, soluções já aplicadas anteriormente.

Assim, a integração dos softwares numa base única de dados possibilitará acelerar ainda mais o desenvolvimento dos novos produtos e processos e trata-se do grande desafio para a consolidação da Fábrica Digital, como uma ferramenta para atuar na redução do lançamento de novos produtos.

## Referências

---

BOLWIJN, P. T.; KUMPE, T. Manufacturing in the 1990's: Productivity Flexibility and Innovation. *Long Range Planning*, v.23, n.4, 1990. p. 44-57.

EVANS, B. Simultaneous Engineering, *Mechanical Engineering*, v. 110, n. 2. 1988. p. 38-39.

FISCHER, W.; DANGELMAIER, W. *Produkt- und Anlagenoptimierung – Effiziente Produktentwicklung und Systemauslegung*. Springer. 2000.

FREEMAN, I. C. Objective Comparison of Design of Experiments Strategies in Design and Observations in Practice. 2004. 150 p. Dissertação de Mestrado- MIT. Massachusetts, 07/05/2004.

HAEPF, H. J.; GIERING, A. Anforderungen an die Simulation von Fügeverfahren im Automobilbau: Demands on the modelling of joining processes in automotive production. *Stuttgart: DVS-Berichte*, v. 214, 2001. p. 1-8.

HERRMANN, S.; PAULESER, T.; SPAHRER, H.; WAHL, F. Digitale Fabrik: Die Planungsmethodik *Virtuelle Produktion*. Ingolstadt: AUDI. 2004. p 245-251.

MENGES, R. Frühzeitige Produkt-Beeinflussung und Prozessabsicherung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. München: *Carl Hanser Verlag*. 2005. p. 25-31.

MUSCAT, A. R. N.; FLEURY, A. C. C. Indicadores da qualidade e produtividade na indústria brasileira. Brasília: *Revista Indicadores da Qualidade e Produtividade*, v. 1, n. 1, 1993. p. 57-78.

PINE II, B. J.; VICTOR, B.; BOYNTON, A. C. The Competitive Environment and New Visions of Manufacturing “Making Mass Customization Work”, *Harvard Business Review*. 1993.

REINFELDER, A.; KOTZ, T. 40 Prozent weniger Planungszeit. *Automobil Produktion*, 2002. p. 35-36.

SCHÖLER, H. P. Quality Function Deployment – Kundenorientierte Produkt- und Prozessentwicklung. *VDI Berichte*, n. 1064. 1993. p. 311-318.

VIDAL, O. C.; KAMINSKI, P. C. An Example of applying Digital Factory Concept for Body Shop design in the Brazilian automotive industry. Darmstadt: *International PACE Forum Digital Manufacturing*. 2005.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. Rio de Janeiro: Ed. Campus. 1992. ■