

ANÁLISE DO PROCESSO DE MONTAGEM DE VEÍCULOS UTILIZANDO COMO FERRAMENTA A ENGENHARIA REVERSA

Lucia Balsemão Furtado Logsdon¹ (lucia.balsemao@gmail.com)

Marta Maria Nogueira Assad¹ (martassad@yahoo.com.br)

Antonio Faria Neto^{1,2} (antfarianeto@gmail.com)

¹Universidade de Taubaté, Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica. Rua Daniel Danelli, s/n, CEP 12060-440, Taubaté, SP.

²Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá. Av. Doutor Ariberto Pereira da Cunha, 373, CEP 12516-410, Guaratinguetá, SP.

Resumo: No mercado automobilístico atual, em que as empresas buscam um processo produtivo mais eficiente, algumas ferramentas podem ser aplicadas, tal qual a Engenharia Reversa. Esta ferramenta é comumente utilizada na área de software ou, no caso da indústria automobilística, para análise do produto de um concorrente. Assim, o presente trabalho propõe o uso da Engenharia Reversa como forma de adquirir conhecimentos de veículos de empresas concorrentes, com foco no processo de montagem. Foi utilizada uma pesquisa-participante, com abordagem qualitativa, com o objetivo de organizar os dados obtidos da seqüência de remontagem de um veículo concorrente. A pesquisa foi realizada por meio de um questionário estruturado, que gerou observações de três duplas (engenheiro + montador) de trabalho. Como resultado, pode-se observar uma melhora no conhecimento dos participantes em relação aos processos já existentes, apontando pontos fortes e fracos das montagens das peças do veículo concorrente.

Palavras-chave: Engenharia Reversa, Análise da Concorrência, Melhoria de Processos, Montagem, Indústria Automobilística.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a utilização da Engenharia Reversa era mal vista por ser considerada uma prática que infringia leis de patentes e direitos autorais. No entanto, a Engenharia Reversa evoluiu como uma importante ferramenta de Engenharia, utilizada para melhorar processos, a qualidade de produtos e diminuir o ciclo de desenvolvimento de novos produtos. Em um mundo onde a concorrência exige respostas cada vez mais rápidas, e uma estrutura de custos cada vez mais competitiva, o uso de ferramentas de desenvolvimento adequadas pode determinar o sucesso ou fracasso de um produto antes mesmo de seu lançamento.

A indústria automobilística brasileira tem se tornado cada vez mais competitiva. Com uma população de mais 191 milhões de pessoas (IBGE, 2010), o Brasil é um país com grande potencial de consumo de veículos automotivos. Desta forma, montadoras de automóveis multinacionais se instalaram no país nos últimos anos, a fim de entrar no mercado brasileiro e da América Latina. Algumas dessas indústrias multinacionais estão há menos de duas décadas no mercado nacional, e foram criadas segundo orientação de suas filiais. Ao longo do tempo, as empresas se adaptaram à cultura local, absorvendo mais mão-de-obra especializada do próprio país e também foram se adaptando ao gosto do cliente local. Uma das formas de buscar entender as diferenças de desempenho entre as diversas empresas é a análise dos produtos da concorrência usando, para isso, ferramentas como a Engenharia Reversa.

Na maior parte das vezes a Engenharia Reversa é utilizada para análise de produtos. No entanto, no presente estudo, a questão central é: como utilizar esta ferramenta para observar produtos em busca de obter informações que indiquem melhorias de processo a serem realizadas?

1.1 Objetivo

Esta pesquisa teve como objetivo geral propor, por meio da análise de produtos similares, um modelo para ser utilizado na análise de processos de montagem de novos produtos na área automobilística, utilizando como base as informações obtidas por meio da Engenharia Reversa. Especificamente, analisa

um produto de categoria semelhante da concorrência; identifica neste produto prováveis diferenças de processo e elabora um modelo para ser utilizado nos mais diversos produtos automobilísticos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Existem conceitos e aplicações diversas que são entendidas como Engenharia Reversa. Cada ramo de aplicação e cada autor descrevem esta mesma ferramenta com variadas metodologias, sejam elas na área de Computação, na área de Desenvolvimento de Produto ou até mesmo tratando de uma “filosofia” de Engenharia Reversa, que a indica como uma ferramenta natural do ser humano.

2.1 Engenharia Reversa

2.1.1 Conceitos

Raja e Fernandes (2008) definem Engenharia como o processo de desenhar, fabricar, montar e manter produtos e sistemas, e conceituam dois tipos de engenharia, a Engenharia Progressiva e a Engenharia Reversa. Para Braga (1998) a diferença entre a Engenharia Convencional, ou Progressiva, e a Engenharia Reversa é que a Engenharia Progressiva parte de um alto nível de abstração para um baixo nível de abstração, e a Engenharia Reversa parte de um baixo nível de abstração para um alto nível de abstração. Várady, Martin e Cox (1996) afirmam que, enquanto a Engenharia Convencional transforma conceitos de engenharia e modelos em partes reais, na Engenharia Reversa, as partes reais são transformadas em conceitos de engenharia e modelos. Ou seja, na Engenharia Reversa tem-se o produto final e busca-se como ele começou.

A Engenharia Reversa teve sua origem na necessidade de repor peças danificadas de equipamentos antigos, que não possuem peças de reposição no mercado. No entanto, diversos autores, tais como Chikofsky e Cross (1990) associam o desenvolvimento desta ferramenta no campo da informática, onde a prática de decifrar projetos de produtos acabados é comum.

Segundo Ingle (1994), muitos equipamentos que existem hoje possuem mais de 30 anos, o que torna difícil encontrar uma forma de abastecimento das peças de reposição, impactando nações em desenvolvimento, emergentes e até mesmo as desenvolvidas. Schultz (2010) corrobora com esta ideia ao afirmar que a necessidade da Engenharia Reversa cresce à medida que fornecedores desaparecem e não existe suporte técnico para determinados produtos.

Bagci (2008) define a Engenharia Reversa como a avaliação sistemática de um produto com o propósito de replicação, envolvendo, para isso, a criação de uma nova peça, a cópia de uma parte existente ou a recuperação de uma parte danificada ou quebrada. Desta forma, tem-se a redução dos custos e do tempo de fabricação.

Sokovic e Kopac (2006) afirmam em sua pesquisa que o tempo de desenvolvimento está ligado diretamente ao custo e a viabilidade de produção. Para o caso da indústria automobilística, que envolve uma enorme quantidade de peças, esta questão é ainda mais relevante. Uma ferramenta, segundo os autores, usada de forma comum e com sucesso é a Engenharia Reversa.

Mury (2000) associa a aplicação da Engenharia Reversa, retirando o conceito de simples cópia, a uma análise das necessidades do cliente.

Segundo Schultz (2010), a Engenharia Reversa é uma atividade essencial no mundo industrial moderno. Para aqueles que a criticam e afirmam que a Engenharia Reversa copia um produto, o autor prefere indicar a longa e honrada história da prática de estudar um produto concorrente e a utilização do conhecimento obtido para melhorar seus próprios produtos. Ainda conforme o autor, até mesmo as maiores e melhores organizações industriais do mundo gastam milhões de dólares todos os anos em "análise competitiva", apesar do que seus advogados da propriedade intelectual possam pensar. O autor ainda afirma que o setor automotivo do mercado de acessórios só existe devido a esta prática e questiona: Onde os restauradores de automóveis estariam sem a Engenharia Reversa?

2.1.2 Etapas

De acordo com Dufour (1996), pode-se estruturar a atividade da Engenharia Reversa para que ela não seja apenas intuitiva, utilizando-se um método de trabalho para orientar a equipe de desenvolvimento de produtos.

Dias (1997) observou em seus estudos que a Engenharia Reversa possui conceitos diversos entre os autores, pois detém diferentes usos e processos de aplicação variados. Observou também que, mesmo com essa variedade de conceitos, existem duas etapas fundamentais em praticamente todos eles: análise para caracterização do objeto de estudo da Engenharia Reversa, identificando os componentes e suas inter-relações; nova apresentação do objeto com um nível mais alto de abstração.

Para Ingle (1994) a Engenharia Reversa é aplicada por meio de um processo de quatro estágios de desenvolvimento de dados técnicos: avaliação e verificação dos dados, geração dos dados técnicos, verificação do projeto e implementação do projeto. A primeira fase tem como objetivo a observação de detalhes construtivos e a identificação dos conceitos usados no produto original. Faz-se isso desmontando o produto. Em seguida, realiza-se a medição e os testes, para gerar dados sobre o produto, levantando informações geométricas com ou sem a ajuda de recursos informatizados como CAD e *scanners*, e outras informações técnicas como acabamentos superficiais, materiais e tratamentos térmicos e outros aspectos relacionados à função do componente ou ao sistema do produto. A terceira fase é a verificação do projeto, ou seja, analisam-se mais profundamente os dados obtidos para confirmar as informações da fase anterior e para apontar as compatibilidades entre o produto analisado e o novo produto. Finalmente, na quarta fase proposta por Ingle (1994), tem-se a implementação do projeto, onde podem ser construídos protótipos em quantidade e qualidade conforme a necessidade do produto analisado.

2.1.3 Aplicações

As aplicações da Engenharia Reversa variam desde a sua origem, que é permitir a manutenção de itens sem peças de reposição, manuais e documentação, a melhoria de *softwares* já existentes, o estudo de um produto da concorrência e até mesmo seu uso para fins acadêmicos.

Foram encontradas referências da aplicação da Engenharia Reversa:

- Para aplicação em engenharia de *software* (SCALISE *et al*, 2010; MARTÍN *et al*, 2012; CHIKOFFSKY e CROSS, 1990; BAGCI, 2009; BRAGA, 1998);
- Para redução de custos ligados a *crash-tests*, conforme o NCAC – *National Crash Analysis Center*;
- Para reprodução e aperfeiçoamento de peças já existentes, onde sejam desejadas melhorias, tais como redução de custo ou mesmo inclusão de novas características ao produto (DA SILVA *et al*, 2005);
- Para analisar características boas e ruins dos produtos da concorrência (RAJA e FERNANDES, 2008; WATTENBERG, 1997), especialmente no ramo automotivo, como na Toyota (RIBEIRO, 2009);
- Para aperfeiçoar características funcionais e tecnológicas de um determinado produto no ramo de energias alternativas (ALVES *et al* 2011);
- Na homologação de produtos, pois utilizando o produto-base como referência, os custos de homologação do novo produto são reduzidos (DA SILVA, 2005);
- Para aplicação em fins acadêmicos (LIMA, 2003). De uma forma geral, os estudantes de engenharia aprendem apenas conceitos compartimentados, sem conhecer na prática e de forma sistêmica o funcionamento dos projetos. Wood *et al* (2001), descrevem em seu artigo como a Engenharia Reversa pode auxiliar no ensino da Engenharia, pois ao invés dos estudantes aprenderem apenas repetindo desenhos e projetos, eles poderiam ter os produtos em mãos, dissecando-os e realizando experimentos com seus componentes;
- Mello *et al* (2001) também utilizou a Engenharia Reversa com o objetivo de reduzir o custo-meta e ao menos manter sua posição no mercado.

Segundo Lima (2003), a Engenharia Reversa é uma das tecnologias que podem ser usadas para aumentar a competitividade das empresas à medida que torna os processos mais ágeis e flexíveis, sendo de fundamental importância para as empresas, não apenas na indústria, mas também na Medicina, nas Artes e na Educação.

2.2 Restrições da Aplicação da Engenharia Reversa ao Novo Processo

Apesar das vantagens da aplicação da Engenharia Reversa, como economia de custos e melhorias nos processos e na qualidade, a introdução de modificações provenientes desta técnica podem encontrar diversas e sérias restrições. Por exemplo, uma linha de montagem já existente pode apresentar uma série de impedimentos para ser modificada, dentre os quais:

- Altura dos postos: como a linha de montagem já foi instalada e se trata de uma montagem com alturas pré-fixadas, não é possível modificar as alturas existentes, a não ser que se modifique a operação de posto;
- Operações em postos fixos: algumas operações só podem ser executadas em um determinado posto de trabalho, pois necessitam de algum dispositivo já instalado;
- Tamanho da linha: como se trata de uma linha já existente, não é possível modificar o tamanho da linha para se implantar um processo novo.

Mesmo quando o produto concorrente aplica um processo produtivo mais rentável, mais rápido ou com melhores condições de montagem, a implantação da alteração proposta em uma linha que já existe pode esbarrar em um desses fatores, e o investimento total da alteração para obter os ganhos pode não compensar o investimento em alterar a linha.

2.3 A Engenharia Reversa e a Sua Legalidade

Para Dias (1997), a Engenharia Reversa pouco é reconhecida e encontrada nos materiais didáticos, pois é confundida muitas vezes com pirataria.

Segundo Samuelson e Scotchmer (2002), se for considerado que a Engenharia Reversa é a extração de *know-how* ou conhecimento de um artefato feito pelo homem, tem-se uma tem uma longa história como uma prática amplamente praticada e aceita. Advogados e economistas têm endossado a Engenharia Reversa como um meio adequado para obter tais informações, mesmo que a intenção seja fazer um produto que irá atrair clientes longe do fabricante do produto original. Dada esta aceitação, pode ser surpreendente como a Engenharia Reversa tem sido perseguida nas últimas décadas. O *Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (TRIPS), que é um tratado internacional que, entre outras coisas, obriga os Estados membros da Organização Mundial do Comércio (OMC) a proteger segredos comerciais, ainda não possui nenhum ponto contra a aplicação da Engenharia Reversa. O *Economic Espionage Act* (EEA) de 1996 criou a primeira ação por apropriação indébita de segredo comercial. A falta de uma defesa da Engenharia Reversa tem incomodado alguns comentaristas porque os direitos concedidos no âmbito do EEA podem afetar certas atividades da Engenharia Reversa que se pensava serem legais.

De acordo com Samuelson e Scotchmer (2002), tem-se como defesa da Engenharia Reversa que esta técnica pode ser utilizada para a descoberta e aprendizagem, fazendo com que engenheiros não aprendam apenas por meio de leitura de artigos impressos e publicações, mas também na prática, muitas vezes levando a novos produtos e avanços de conhecimento. A cópia e a distribuição de produtos digitais é quase sem custo e quase instantânea na rede digital, o que torna este tipo de produto extremamente vulnerável, o que poderia justificar algumas limitações à Engenharia Reversa. No entanto, a Engenharia Reversa pode ser mais lenta e mais cara que a engenharia comum, sendo uma fonte eficaz de informações para a inovação e a concorrência em diversos contextos industriais.

De acordo com Sharples (2010), quando se faz a Engenharia Reversa de um item que possui uma patente, a duplicação deste produto através desta técnica infringiria a patente. No entanto, se apenas uma parte do componente é patenteado, a duplicação do componente é aceitável perante as leis de patente.

A Engenharia Reversa nasceu de algo quase natural que é a observação do mundo e como ele funciona. O mercado cada vez mais concorrido no Brasil e no mundo aumenta a busca por técnicas que potencializam a competitividade das empresas. Ao estruturar as observações da Engenharia Reversa, sua aplicação pode ter como resultado a adoção de novos procedimentos de montagem, a utilização de novos materiais, ou o desenvolvimento de novas ferramentas.

3. MÉTODOS

Este estudo é uma pesquisa exploratória, ou seja, tem a finalidade esclarecer e modificar conceitos (LAKATOS e MARCONI, 1991) e traz abordagem qualitativa. Segundo Günther (2006), este tipo de abordagem apresenta cinco grupos de características-chave: as características gerais, que compreendem o fato da coleta de dados produzir textos ao invés de números, a coleta de dados, em que se consideram todas as variáveis como importantes (em contraponto à abordagem quantitativa, que isola variáveis), o objeto de estudo e a interpretação dos resultados. Foi utilizada como método a pesquisa-participante, pois a pesquisa foi construída junto com seus participantes, que ajudaram nas hipóteses e no cronograma do trabalho (LAKATOS e MARCONI, 1991), onde se observaram subprodutos de veículos automotores produzidos em uma linha de montagem final. Foram realizadas operações de desmontagem/remontagem

de produtos da concorrência, em que se observaram os sub-produtos para obtenção de informações de processos mais robustos em ergonomia, qualidade e/ou tempo de operação.

A aplicação da Engenharia Reversa do presente estudo deu-se em uma montadora de veículos automotores de passeio instalado no Brasil. Inicialmente, o veículo foi desmontado para a realização da Engenharia Reversa dos produtos. Normalmente, após estas análises, o veículo seria descartado, mas foi proposto, para a equipe de engenharia de processos, que o veículo fosse remontado. Para organizar este trabalho, um grupo composto por três engenheiros e três montadores com conhecimentos em engenharia de processo de montagem foi selecionado. A equipe de processo preparou um cronograma para organizar o trabalho e seqüenciar as fases da remontagem.

Como referência, utilizou-se a ordem de montagem dos veículos da montadora, o que não necessariamente foi aplicado ao veículo no qual foi realizada a Engenharia Reversa, a saber:

- Fase 01 (HC1 e HC2) – Preparação da Carroceria;
- Fase 02 (PM + POM e Acople) – Preparação Motor;
- Fase 03 (MV2, MV3 e Portas) – Montagem Veículo.

Para atingir os objetivos propostos, foi elaborado um questionário baseado em conhecimentos empíricos do grupo de trabalho. Desta forma, o trabalho pode ser padronizado e mais organizado, fazendo com que as análises de cada profissional tivessem o mesmo tipo de observação. O questionário foi proposto em uma reunião do grupo e foi aprovado por todos os participantes, descrito conforme detalhado a seguir:

1. **Marca:** Marca do veículo a ser analisado;
2. **Modelo:** Modelo do veículo a ser analisado;
3. **Peça / Função principal:** Permite identificar a qual peça a análise se refere ou qual é a função principal estudada;
4. **Analista:** Identifica a pessoa responsável pela análise.
5. **Data:** Data em que a análise foi realizada em campo;
6. **Fotos:** Fotos do processo de remontagem analisado, detalhando os processos observados;
7. **Modo operatório sucinto:** Um breve descritivo do modo operatório executado para a remontagem da peça. Como trata-se de uma análise da concorrência, pode ser que o modo operatório descrito pelo analista não seja exatamente o mesmo executado pela empresa montadora do veículo;
8. **TA Estimado:** Trata-se do tempo de operação estimado. Como as condições de remontagem não necessariamente são as mesmas de um posto de montagem, os valores são aproximados, apenas para sugerir uma idéia do tempo gasto para executar a operação;
9. **Análise Ergonomia Resumida:** As condições de montagem real são desconhecidas, tais como altura de trabalho e quantidade de operadores. No entanto, é possível estimar se um trabalho é leve, moderado ou pesado;
10. **Elementos de fixação:** É a descrição do elemento de fixação da peça analisada;
11. **Ferramentas utilizadas:** Descreve os meios utilizados na remontagem da peça analisada;
12. **Parâmetros de Processo Utilizados:** indica uma consideração do analista;
13. **Pontos fortes:** Compara a montagem do veículo estudado com os montados na fábrica, descrevendo as melhorias;
14. **Pontos fracos:** Compara a montagem do veículo estudado com os montados na fábrica, descrevendo as degradações;

Os campos de 1 a 12 são anotações sobre o processo enquanto os demais campos são observações do analista, e correspondem à fase de análise e caracterização, descrita por Dias (1997), e pela fase de avaliação de dados de Ingle (1994). Em seguida os questionários foram compilados em quadros-resumo, e as observações mais relevantes discutidas no capítulo 5. Ao final, é elaborado um modelo, com as etapas a serem seguidas para aplicação da Engenharia Reversa com aplicação em Engenharia de Processos.

4. RESULTADOS

A remontagem do veículo gerou 52 relatórios contendo dados e fotos das principais operações. Ao analisar os dados, as duplas de trabalho levantaram os pontos fortes e fracos de cada operação, conforme apresentado nos quadros-resumo a seguir.

4.1 Remontagens do Módulo HC

O primeiro quadro-resumo se refere ao trabalho da primeira dupla, do módulo HC, conforme mostrado no Quadro 2.

Relatório	Operação	Pontos Fortes	Pontos Fracos
1	Chicotes elétricos	Chicote único para diversas funções; Encaminhamento intuitivo.	Grande volume de chicote a ser manipulado; Uso de fita para fixação é complicado para o manuseio do operador e não garante o encaminhamento em todos os trechos; Dificil passagem do chicote na região do pára-sol.
2	Insonos	Insono leve, que facilita a montagem do operador.	Arruela metálica de fixação que poderia machucar o montador; Menor isolamento acústico devido à natureza do material utilizado.
3	Tapetes	Tapetes leves, o que torna a avaliação ergonômica leve; Acabamento com velcro fácil de realizar.	Estética ruim do conjunto.
4	Cabo e base da antena	Redução no custo do produto ao se utilizar fita adesiva para fixar o cabo antena.	Alto tempo de operação devido ao posicionamento de nove pontos de fita, cortados no momento da montagem; Cola da fita cola na luva do operador; Encaminhamento do cabo da antena fica a critério do montador; Postura inadequada para posicionamento.
5	Cintos de Segurança	Fixação de duas fivelas por apenas um suporte.	Peça sem pré-posicionadores (<i>pré-maitien</i>); Ergonomia da montagem do enrolador o cinto traseiro.
6	Alça de apoio e pára-sol	Sem pontos fortes.	Gancho do para-sol e alça de apoio não possuem pré-posicionadores; Alça rebatível atrapalha a montagem e a fixação dos parafusos.
7	Gancho das fechaduras	Sem pontos fortes.	Fixação dos ganchos é realizada por parafusos não padronizados; Peças não possuem pré-posicionadores nem indexadores para garantir a sua correta posição.
8	Servo-freio (máster-vácuo) e pedais	Acesso às fixações é fácil.	Excesso de fixações para todo o sistema (doze parafusos no total); Sistema não possui pré-posicionadores.
9	Painel de bordo	Peças leves.	Alinhamento difícil da travessa no veículo; Excesso de fixações.
10	Fachada central do painel	Sem pontos fortes.	Encaminhamento dos ramais na região da fachada é difícil e depende da boa formação do operador (não é intuitivo).
11	Lanterna	Bom alinhamento da lanterna com a carroceria.	Sem pontos fracos.
12	Suporte do para-choque traseiro	Peça possui um anti-erro, que indica a posição correta de montagem; Montagem fácil.	Peça não possui pré-sustentação.
13	Para-choque traseiro	Bom alinhamento do para-choque com a carroceria e com a lanterna.	Muitos pontos de fixação (total de quinze parafusos); Diversidade dos parafusos de fixação.
14	Batentes do porta-malas	Montagem fácil do batente do porta-malas; Batente do porta-malas possui guia, o que facilita da montagem; Um problema de estrutura pode ser absorvido pela	Batente do porta-malas não possui pré-sustentação; O alinhamento do batente regulável depende do operador; Muitas fixações no batente lateral; Utilização de lubrificação para montagem do batente limitador; Postura muito

		regulagem do batente regulável.	incômoda para montagem do batente do limitador.
15	Tubos e reservatório de combustível	Necessidade de posicionar as cintas e o reservatório antes de fixá-lo.	Dificuldade de passagem dos tubos de combustível, que estava engraxado.
16	Compensador do freio	Fixação do compensador na carroceria é realizada apenas por um parafuso.	Necessidade de pré-rosquear e fixar tubo a tubo.

Quadro 2: Quadro-resumo do módulo HC

Fonte: Dados da pesquisa

O quadro-resumo do módulo HC demonstra as impressões da primeira dupla de trabalho em relação ao veículo estudado. De um modo geral, pode-se observar que o veículo possui soluções mais simples de produto que os veículos da fábrica a realizar a análise, o que indica uma redução no desenvolvimento e no custo de produção das peças. Em alguns casos, estas soluções podem apresentar-se como boas alternativas de processo, associando um bom custo de produto com um bom custo de processo, como no caso do velcro do tapete, ou não, como no caso do chicote único.

4.2 Remontagens do Módulo POM

Da mesma forma que foi feita para o primeiro módulo, os dados foram compilados em um quadro com a descrição da operação e seus pontos fortes e fracos, para facilitar a visualização das observações dos relatórios. O quadro-resumo do módulo POM encontra-se no Quadro 3.

Relatório	Operação	Pontos Fortes	Pontos Fracos
1	Amortecedor traseiro	Não foram identificados pontos fortes.	Acesso muito ruim para segurar a porca.
2	Berço do motor na carroceria	Porcas para fixação vêm soldadas.	Montagem dos “ <i>impacteur</i> ”, ou seja, uma peça a mais.
3	Bomba de direção assistida	Uso de três parafusos iguais; Acesso muito bom para parafusar do lado do catalisador.	Não tem reservatório na bomba; A polia não vem preparada na bomba; Dificuldade para pré-rosquear o parafuso da polia.
4	Caixa de câmbio no motor	Utilização de dois parafusos comuns com a fixação do motor de arranque; Não existe cupilha para posicionar o motor de arranque.	Existência de uma junta metálica atrás do volante do motor.
5	Suporte lado esquerdo do motor na caixa de câmbio	Uso de apenas dois parafusos para a fixação, o que reduz o tempo da operação.	Não foram identificados pontos fracos.
6	Compressor de refrigeração sobre o suporte dos acessórios	Não foram identificados pontos fortes.	A orientação do compressor é para baixo, o que prejudica a ergonomia da operação.
7	Elementos portadores na carroceria	Não é necessário o uso de um pino guia ou uma ferramenta para orientar o elemento portador.	Não foram identificados pontos fracos.
8	Suporte do escapamento	Não possui fixação por porcas.	Quantidade razoável de coxins a serem montados (três na região traseira da carroceria e dois no berço do motor).
9	Polia amortecedora de vibração (virabrequim)	Não foram identificados pontos fortes.	Uso de um pino guia. No entanto, não se sabe o motivo do uso deste pino guia, se é para processo ou se é funcional; Uso de quatro parafusos.
10	Pré-catalisador	O pré-catalisador vem soldado com o coletor (constituindo apenas uma peça); Não existe fixação sobre a caixa de	Não foram identificados pontos fracos.

		câmbio.	
11	Rolete tensionador da correia de acessórios e correias	Parafuso integrado no rolete; Rolete tensor de baixo custo; Não houve a necessidade de retirar o pino do rolete tensionador dinâmico; Não possui roletes livres; Utilização de correias elásticas, que elimina a necessidade de tensionador dinâmico.	Necessidade de fazer o motor girar com uma ferramenta para permitir a montagem das correias; Necessidade de duas correias: uma para alternador e bomba da direção assistida e outra para o compressor da refrigeração.
12	Suportes do motor	Não foram identificados pontos fortes.	Não foram identificados pontos fracos.
13	Transmissão	Não possui suporte mancal entre a transmissão e a caixa de velocidade; Não possui fixação nem porca de trava com cupilha entre a transmissão e o cubo de roda.	Fixação da transmissão sobre a caixa com seis parafusos.
14	Trem traseiro	Não foram identificados pontos fortes.	Não foram identificados pontos fracos.
15	Tubulação da direção assistida alta-pressão bomba-cremalheira	Sistema de fixação na bomba fácil para pré-rosquear; Uso de um soquete padrão; Torques iguais na bomba e na cremalheira (hipótese).	Mais uma peça de fixação para fixar o tubo alta pressão na bomba; Fixações baixa pressão e alta pressão sobre a cremalheira separadas.
16	Alternador no suporte	Uso apenas de dois parafusos para fixação do alternador no suporte; Não há necessidade de preparação; Apenas uma parafusadeira para fixar os dois parafusos; Acesso muito bom devido a não existência de um parafuso do lado do pré-catalisador.	Não foram identificados pontos fracos.
17	Chicote motor	Excitação motor de arranque com conector clipado; Ausência de calha para garantir o encaminhamento do chicote.	Não foram identificados pontos fracos.
18	Comando de velocidades	Melhor fixação sobre o “ <i>arret gainé</i> ”.	Maior quantidade de peças para realizar as fixações.
19	Escapamento	Não foram identificados pontos fortes.	Operação que necessita de um gabarito; Suporte com dois parafusos.
20	Suporte dos acessórios	Ausência de cupilha; Apenas um suporte para direção assistida, alternador e compressor de refrigeração.	Não foram identificados pontos fracos.
21	Tela térmica do catalisador e do coletor	Apenas uma tela para cobrir o coletor e o pré-catalisador; Suporte da sonda com um parafuso comum com a tela e com anti-rotação.	Necessidade de pré-rosquear os parafusos.
22	Tubulação baixa pressão da direção assistida	Não foram identificados pontos fortes.	Ligação no reservatório depois do acople; Fixação baixa pressão e alta pressão sobre a cremalheira de forma separada.
23	Circuito de água no motor	União dos tubos aerotérmicos de entrada e saída; Existência de apenas uma peça para BSE e CEE.	Necessidade de abastecer as abraçadeiras; Não existem abraçadeiras embarcadas.

Quadro 3: Quadro-resumo do módulo POM

Fonte: Dados da pesquisa

Este quadro-resumo apresenta alguns pontos fortes nas montagens do motor, órgãos mecânicos e a sua união com o veículo, tais como a facilidade de montagem de algumas peças, mas também demonstra que o veículo estudado possui muitas montagens que aumentam o tempo do operador ou que são deixadas para serem executadas na linha de montagem final, ao invés de virem preparadas.

4.3 Remontagens do Módulo MV

Um quadro com os dados das treze montagens do módulo MV foi criado, assim como nos demais módulos. O quadro contempla a descrição da peça observada e seus pontos fortes e fracos.

Relatório	Operação	Pontos Fortes	Pontos Fracos
1	Alto-falante	Suporte já vem integrado à peça.	Necessidade de montar as buchas plásticas.
2	Banco traseiro	Peças leves; Fácil acesso para as fixações.	Dificuldade para alinhar os furos do encosto com os da dobradiça.
3	Comando de abertura da porta externo e da fechadura	Não há preparação da fechadura com o suporte da maçaneta.	Não há pré-sustentação (“ <i>pré-maitien</i> ”) na fechadura, ou seja, é necessário segurar a peça para dar o torque; Dificuldade para encaixar a extremidade do cabo da maçaneta na fechadura, pois a operação é realizada às cegas e há pouco espaço.
4	Console	Console fácil de montar e com poucas fixações; Embelezador fácil de montar.	Dificuldade de montagem da coifa do freio de mão no embelezador do freio.
5	Desmontagem e remontagem das portas	Não há necessidade de soltar os parafusos da dobradiça para desmontar a porta; Remontagem muito fácil.	Não foram identificados pontos fracos.
6	Folha de estanqueidade das portas	Não foram identificados pontos fortes	Necessidade de furar a folha de estanqueidade para passagem de alguns elementos (poderia vir furada).
7	Grupo moto-ventilador	Fachada e travessa integradas (uma única peça);	Dificuldade para montagem do tubo de refrigeração no condensador.
8	Guia do vidro	Não há necessidade de segurar a peça para fixar; Acesso fácil à operação.	Não foram identificados pontos fracos.
9	Mecanismo levanta-vidro	Peça pequena, muito fácil de manusear; Acesso fácil para a operação.	Diversidade na borda de linha (trilho e motor, duas peças separadas).
10	Painel de porta	Embelezador do parafuso já vem integrado à peça	Muitos pontos de fixação (cinco); Diversidade de elementos de fixação.
11	Para-barro dianteiro	Boa retenção dos pré-sustentadores; Furos casam com facilidade.	Excesso de fixações por parafusos.
12	Para-choque dianteiro	Para-choque leve – apenas 5,9kg; Para-choque sem fixações laterais, apenas clipagem em um suporte.	Suporte sem pré-sustentação; Para-choque sem pré-sustentação.
13	Fechadura e do gancho da fechadura	Gancho montado na linha de montagem final.	Acesso difícil para as fixações.

Quadro 4: Quadro-resumo do módulo MV

Fonte: Dados da pesquisa

O último quadro-resumo apresenta alguns pontos fortes do módulo MV, que mostram que as peças possuem bons encaixes e facilidade de montagem, mas corrobora com o primeiro quadro, no sentido que

nem sempre a simplicidade da construção de uma peça tem um efeito semelhante do ponto de vista do processo.

4.4 Modelo para Engenharia Reversa de Processos

A pesquisa aqui descrita estrutura um modelo que pode ser utilizado não apenas para outras análises de veículos da concorrência, como também para produtos de outras áreas. Adaptando as fases propostas por Ingle para atender às necessidades de um modelo focado em processos de montagem, e não em processos de produção, tem-se as seguintes etapas:

- Identificar o produto a ser analisado: buscar no mercado um produto que tenha o diferencial competitivo desejado;
- Selecionar um grupo de trabalho: reunir uma equipe com engenheiros e montadores experientes, que possam criticar de forma construtiva o produto da concorrência;
- Planejar as fases da execução, organizando as datas de cada fase;
- Desconstruir o produto a ser analisado (ou receber desconstruído, como foi o caso);
- Adquirir os meios necessários à remontagem, tais como chaves e soquetes específicos;
- Realizar a remontagem, registrando informações, impressões e, quando possível, imagens;
- Compilar os dados relevantes;
- Discutir as idéias levantadas pelo grupo;
- Lançar propostas de melhorias de processo;
- Implementar as propostas em novos produtos.

5. DISCUSSÃO

Ao observar os dados obtidos por meio dos relatórios e todas as observações que os analistas fizeram em cada uma das montagens, pode-se constatar que a aplicação da Engenharia Reversa como ferramenta de ganho de conhecimento da forma que foi descrita em diversos trabalhos em outras áreas na revisão bibliográfica é plenamente aplicável. Da mesma forma, este ganho de conhecimento dos participantes da análise induz a uma redução no tempo de desenvolvimento de novos processos quando as peças novas se assemelham às peças do veículo da concorrência.

Os relatórios da primeira dupla, que contemplam as montagens de Preparação da Carroceria, indicaram diferenças estruturais do veículo analisado. Alguns dos pontos mais ricos observados foram:

- A concepção de “chicote único”, para integrar as mais importantes funções do veículo, que reduz a quantidade de fios utilizados (matéria-prima), mas pode afetar a ergonomia de montagem devido ao seu peso;
- A utilização de uma fita adesiva para fixação dos cabos elétricos, promovendo uma quebra de paradigma. Por um lado reduz o custo do veículo ao reduzir a quantidade de elementos de fixação (grampos plásticos, por exemplo), reduz o peso do veículo ao eliminar estes elementos e flexibiliza a montagem do cabo, que pode ser utilizado para mais de um tipo de veículo, ou seja, torna as peças mais versáteis reduzindo a quantidade de referências existentes (desenvolvidas, compradas e estocadas). Por outro lado, permite que o operador escolha o roteamento do cabo, podendo levar ao erro, contamina a luva do operador com a face adesivada, fazendo com que as trocas de luva sejam mais frequentes para evitar a degradação do veículo, e pode aumentar o tempo de operação dependendo do método utilizado para colagem da fita. Além disso, não foi possível determinar a durabilidade da fita, para saber se, ao longo do tempo, ela poderia se descolar;
- Uso de materiais mais leves para insonos e tapetes, permitindo o uso de menos peças, mas sem comprovação (pela parte da equipe do processo) da mesma eficácia de isolamento acústico do que os materiais mais pesados comumente utilizados. É um exemplo que traz benefícios, mas exige análises de acústica e qualidade antes da sua implementação;
- A não utilização de pré-posicionadores em algumas peças, que, por um lado, permite a absorção de tolerâncias de montagem maiores, por outro aumenta o tempo e a dificuldade de montagem por parte do operador, bem como a ergonomia, uma vez que o operador precisa segurar as peças para fixá-las;
- Aplicação do *lean design* na fixação de duas fivelas do cinto de segurança por apenas um suporte;
- Para a fixação do servo-freio à pedaleira, pode-se utilizar algum tipo de trava para que a operação não precise ocorrer simultaneamente com dois operadores. A trava pode ser indexada ao servo-freio,

como uma face adesivada que o mantenha no lugar durante o posicionamento da pedaleira ou pode ser um dispositivo que mantém o servo-freio no lugar até o posicionamento e travamento da pedaleira. Os inconvenientes destes métodos são: para o adesivo, a dificuldade é encontrar um adesivo que resista ao peso do servo-freio e que não o deixe cair no momento do posicionamento da pedaleira, aumento do custo-peça por conta da inclusão deste adesivo, aumento de resíduo, para retirada do protetor da face adesivada; para o dispositivo, é o desenvolvimento e uso de um meio não padronizado, aumento do tempo de operação, já que agrega a operação de posicionar e de retirar o dispositivo, além da necessidade de realizar as operações de montagem do servo-freio e da pedaleira no mesmo posto, mesmo que não simultaneamente, para que o dispositivo seja devolvido no posto correto. No veículo estudado, nenhuma destas alternativas foi utilizada.

- Peças com sistemas de montagem anti-erro: ao projetar a peça para que garanta a sua montagem correta, sem que o operador precise de um conhecimento prévio, como uma folha de instrução, ou sem a necessidade de algum tipo de dispositivo, faz com que o tempo de operação seja menor sem necessariamente aumentar o custo de produção da peça.

De um modo geral, para este módulo, foi observada uma degradação da facilidade de montagem (consequentemente tempo de operação e ergonomia) para beneficiar a concepção de um produto mais flexível ou de menor custo. Este fato pode ser explicado pelo tipo de veículo que foi feita a Engenharia Reversa, que é um veículo sedan popular, de baixo custo, que pretende atender um público que deseja um veículo mais barato e com espaço de porta-malas.

Os relatórios da segunda dupla, correspondente às montagens dos acessórios do motor e os itens de ligação ao solo. Neste módulo foram observadas algumas diferenças estruturais em relação aos veículos produzidos na fábrica, uma boa precisão das peças mecânicas montadas e em alguns casos, uma grande variedade de elementos de fixação utilizados. Algumas observações mais marcantes:

- Uso de parafuso “hermafrodita” para montagem do suporte do motor, que implica na utilização de uma ferramenta especial. O uso de ferramentas não padronizadas encarece o custo produtivo, pois muitas vezes há necessidade de desenvolver um soquete usinado especial, o que implica em: fazer a aquisição deste soquete por um processo de compra com desenvolvimento, ou seja, não é encontrado em um catálogo; administrar esta referência a mais nos estoques de ferramentas; não-comunicação desta ferramenta com demais fixações no veículo.
- A necessidade de fazer o motor girar para permitir a montagem das correias é uma concepção usual, mas que aumenta consideravelmente o tempo de operação.

No terceiro módulo, encontrou-se uma situação semelhante ao primeiro módulo, ou seja, peças de desenvolvimento e fabricação menos custosas em troca de maior dificuldade de montagem. Alguns pontos:

- Montagem de buchas plásticas para fixação do alto-falante nas portas: esta é uma típica montagem que não agrega valor direto ao veículo (o cliente não vê as buchas), mas que, em caso de ausência da mesma, pode gerar um efeito cliente (ruído, por exemplo). Além disso, do ponto de vista da Montagem, existe um risco do operador não montar as buchas e, após a fixação do alto-falante, não existe meio de detecção. Para casos como este, é necessário avaliar se é possível aumentar a robustez do alto-falante para eliminar a necessidade da presença das mesmas.
- A montagem dos bancos traseiros pode ser realizada na linha de montagem final basicamente de duas formas: encosto e assento chegam juntos à linha de produção; encosto e assento chegam separados à linha de produção. No primeiro caso, é necessário avaliar o peso do conjunto, pois provavelmente a montagem conjunta ultrapassa os limites máximos de peso preconizados pelas normas de ergonomia, exigindo o uso de um sistema auxiliar como um manipulador. Por outro lado, a montagem separada elimina essa necessidade, mas agrega uma montagem à linha de produção (fixação do assento na dobradiça) que, além de ser delicada do ponto de vista ergonômico, pode ser de difícil alinhamento, como foi o caso do veículo estudado.

Com as informações obtidas nos relatórios, os engenheiros de processo puderam analisar as diferenças entre os produtos montados na fábrica com o da concorrência, abrindo para a discussão algumas propostas.

O próximo passo após as análises seria a compilação dessas observações por família de peça, para que grupos especialistas discutissem a aplicação de proposta. Os conhecimentos obtidos pela Engenharia Reversa do produto e do processo permitiu que os profissionais envolvidos no desenvolvimento do

projeto de um novo veículo buscassem novas alternativas de produto que beneficiem a montagem das peças.

6. CONCLUSÃO

Ao analisar os dados obtidos, pode-se observar:

- O primeiro resultado esperado foi alcançado, pois o preenchimento dos questionários ao realizar a remontagem possibilitou a análise da montagem das peças de um veículo da concorrência;
- O segundo resultado foi cumprido por meio do apontamento das diferenças e análise dos pontos fortes e fracos em relação aos veículos já montados na fábrica em que o trabalho foi aplicado;
- Enfim, o objetivo de propor um modelo para ser utilizado em diversos produtos automobilísticos, tendo como foco o processo de montagem e não o produto, também foi alcançado.

O que se pode concluir é que a Engenharia Reversa pode ser aplicada focando os processos de montagem, mesmo que nem todas as informações obtidas reflitam exatamente as condições de montagem da concorrência. Os dados obtidos podem ser usados para o aumento da experiência dos analistas e engenheiros de processo, fazendo com que os horizontes se expandam. A aplicação de processos diferentes, baseando-se nas remontagens, devem ser estudadas com cautela, levando-se em consideração não apenas as melhorias de processo, mas os possíveis impactos em custos de implantação e modificações de peças.

De forma global, pode-se observar que a Engenharia Reversa é plenamente aplicável para análise de processo da concorrência, mesmo que existam ainda muitas variáveis que não podem ser analisadas contendo apenas o produto final. O conhecimento prévio e a experiência dos envolvidos na análise (engenheiro e montador) contribuem para observações mais ricas e detalhadas.

Assim, sem ferir qualquer patente ou lei de proteção de segredos comerciais ou industriais, a Engenharia Reversa promove ganho de custos, conhecimento e tempo de desenvolvimento e melhoria de processos.

BIBLIOGRAFIA

- ALVES, L. B.; DA SILVA, C. E. S.; MELLO, C. H. P. Análise da utilização do *technology roadmapping* como meio de seleção de produto de referência para a engenharia reversa. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 55-72, 2011.
- BAGCI, E. Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: three case studies. **Advances in Engineering Software**, v. 40, p. 407-418, 2009.
- BRAGA, R. T. V. **Padrões de Software a partir da Engenharia Reversa de Sistemas Legados**. 1998. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- BRASIL. Lei 7.232 de 29 de outubro de 1984. Dispõe sobre a Política Nacional de Informática, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7232.htm. Acesso em 26 de out. 2011
- CHIKOFFSKY, J.E.; CROSS, J. H. Reverse Engineering and design recovery: a taxonomy. **IEEE Software**, v.7., n. 1, p. 13-17, Jan. 1990.
- DA SILVA, C. E. S.; FERNANDES, C. E.; ARTHUR, R.; DINIZ, S.; ALMEIDA, B. F. O potencial da Engenharia Reversa como meio de obtenção de tecnologia de produto e processos em pequenas e médias empresas. In: SIMPEP, 12, 2005, Bauru. **Anais do XII SIMPEP**. Bauru: SIMPEP, 2005.
- DIAS, A. B. **Engenharia Reversa**: uma porta ainda aberta. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 1997, Gramado. **Anais do XVII ENEGEP**. Gramado: ABEPRO, 1997.

- DUFOUR, C. A. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégias de melhoria constante**. 1996. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GÜNTHER, H. Pesquisa Qualitativa *Versus* Pesquisa Quantitativa: Esta É a Questão? In: **Psicologia: Teoria e Pesquisa**. Brasília, v.22, n. 2, ago. 2006.
- INGLE, K.A. **Reverse Engineering**. 1. ed. USA: McGraw-Hill, 1994. 240p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 18 jul. 2010.
- LAKATOS, E. M., MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1991. 243 p.
- LIMA, C. B. **Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida** – Estudo de casos. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- LOUREIRO, M. Novos pólos industriais seduzem montadoras. **Brasil Econômico**. 22 nov. 2011. Disponível em: <http://www.brasileconomico.com.br/noticias/novos-polos-industriais-seduzem-montadoras_109576.html>. Acesso em 08 fev. 2012.
- MARTÍN, E. M.; ARCINIEGAS, J. L.; RODRÍGUEZ, J. C. Caracterización de Herramientas de Ingeniería Inversa. **Información Tecnológica**. Colômbia, 2012. v. 26. p. 31-42.
- MELLO, C. H. P.; TOLEDO, F. O. de; AKAGI, D. A.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C.; XAVIER, A. F. Reprojeto de um dispositivo eletromecânico em uma abordagem de engenharia reversa integrada ao projeto para manufatura e montagem e à prototipagem rápida. **Revista Produção**. 2011, vol. 21, n. 4, p. 620-633.
- MURY, L. G. M. **Uma metodologia para adaptação e melhoria de Produtos a partir da Engenharia Reversa**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- NCAC. Vehicle Modeling Laboratory - **Reverse Engineering of the Highest Caliber**. Disponível em <<http://www.ncac.gwu.edu/vml/index.html>>. Acesso em 11 nov. 2011.
- RAJA, V.; FERNANDES, K. J. **Reverse Engineering – An Industrial Perspective**. 1. ed. UK: Springer, 2008. 242 p.
- RIBEIRO, P. G. G. **Consolidação e Supremacia da Indústria Automobilística Japonesa: O Caso Toyota**. 2009. 45 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Departamento de Economia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- SAMUELSON, P.; SCOTCHMER, S. The Law and Economics of Reverse Engineering. **The Yale Law Journal**, USA, 10 de abr. 2002. v.111, Artigo 1575.
- SCALISE, P. E. G.; FAVRE, J. M.; ZAMBRANO, N. Model-Driven Reverse Engineering and Program Comprehension: An Exemplo. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**. Venezuela, 2010. v. 18, n. 1. p. 76-83.
- SCHULTZ, C. D. Reverse Engineering. **AGMA Technical Paper**. US: American Gear Manufacturers Association, 2010. Disponível em: <http://www.beytagear.com/downloads/10FTM09_Schultz.pdf>. Acesso em: 30 out. 2012.
- SHARPLES, R. E. **The efficiency of Reverse Engineering in the Design of the ORCA XI Autonomous Underwater Vehicle**. 2010. 43 f. Dissertação (Bacharelado em Ciências) – Massachusetts Institute of Technology, USA.

SOKOVIC, M. KOPAC, J. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 175, p. 398-403, 2006.

VÁRADY, T.; MARTIN, R. R.; COX, J. Reverse Engineering of Geometric Models – An Introduction. **Computer-Aided Design**, Germany, v. 29, n. 4, 1996. Disponível em <<http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/journals/cad/cad29.html>>. Acesso em: 30 out. 2012.

WATTENBERG, F. **Overview – Reverse Engineering**. Bozeman, 1997. Disponível em: <<http://www.math.montana.edu/frankw/ccp/modeling/simple/reverse/learn.htm>>. Acesso em: 21 nov. 12.

WOOD, K. L., JENSEN, D., BEZDEK, J, OTTO, K. N., Reverse Engineering and Redesign: Courses to Incrementally and Systematically Teach Design. In: American Society for Engineering Education (ASEE). **Journal of Engineering Education**. Washington, 2001. v. 90, n. 3. p. 363-374.