

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Introdução

A proposta deste trabalho foi avaliar o emprego de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos no projeto de uma bancada para ensaios de fadiga, a qual apresenta características das diferentes áreas que compõe a mecatrônica. O conhecimento sobre o tema e suas nuances foram construídos por meio de uma revisão do estado da arte, complementados pelo acompanhamento de uma equipe de projeto de produtos formada nos moldes da engenharia simultânea.

A engenharia simultânea é realmente um eficiente meio para melhorar a qualidade dos produtos, reduzir o ciclo de desenvolvimento e conseqüentemente minimizar os custos de projeto, visto que muitas fases do processo são consideradas e abordadas conjuntamente por várias pessoas, antecipando problemas futuros. Esta escolha também propiciou observar a complexidade do trabalho entre especialistas das diferentes áreas em prol de um objetivo comum.

A tarefa de projetar sistemas mecatrônicos não é simples. Todavia, as ferramentas aplicadas no estudo de caso em questão já permitiram uma gama de análises pertinentes ao desenvolvimento de um produto desta natureza. Portanto, torna-se fundamental a criação de uma equipe multidisciplinar para desenvolver um produto de modo integrado, segundo os preceitos da engenharia simultânea.

É possível notar também, a partir deste estudo, a necessidade de criar uma cultura de desenvolvimento integrado no meio acadêmico, para que uma nova geração de projetista incorpore nos seus trabalhos os conceitos e as ferramentas da engenharia simultânea. É importante estabelecer os vínculos multidisciplinares existentes no projeto de produtos mecatrônicos, cada vez mais presentes no mundo contemporâneo.

Dentro desta linha de raciocínio, estudou-se o processo de desenvolvimento desde a fase de definição do problema, com a escolha das ferramentas de uso comum, até a fase preliminar do projeto, seguindo a seqüência metodológica proposta por Ferreira (1997) e Ogliari (1999). O estudo de caso foi um dos elementos mais importantes para obtenção dos dados. Estas informações complementaram aquelas levantadas na revisão bibliográfica. Acrescida à pesquisa aplicada aos componentes da equipe de projeto, aprofundou-se os aspectos subjacentes ao processo de desenvolvimento e uso das ferramentas de projeto. Deste modo, os objetivos propostos inicialmente neste trabalho foram sendo alcançados.

A maioria das ferramentas de projeto foi desenvolvida para domínios de conhecimento específicos, pois, ainda não há uma ferramenta padrão que englobe todos os domínios no perímetro da mecatrônica. Este fator dificulta a integração entre as diferentes áreas de conhecimento, visto que as pessoas possuem diferentes culturas, níveis variados de conhecimento e forma de trabalho. Por outro lado, o fato de utilizar múltiplas ferramentas enriquece o processo de desenvolvimento de novos produtos. Estas características são evidenciadas no estudo de caso quando, no capítulo 5, foram levantadas as condições de aplicabilidade das diversas ferramentas nas diferentes áreas abordadas: mecânica, elétrica, eletrônica e software.

O conhecimento das ferramentas e a troca de informação quanto ao emprego das mesmas, em seu campo específico, é imprescindível para um desenvolvimento integrado de produtos com ampla desenvoltura. Há um crescimento e aprendizado salutar entre os componentes da equipe de projeto desde o início do projeto informacional até a escolha de uma concepção preliminar do produto. O que foi constatado no processo quanto ao emprego de algumas ferramentas é que quanto maior o conhecimento da ferramenta em uso, maior é a interação da equipe, todavia maior também é o tempo gasto na tomada de decisões, pois, nem sempre o consenso ocorre de modo natural. Há de se prosseguir com a decisão da maioria.

2. Aspectos relevantes na aplicação das ferramentas DIP no projeto da bancada

É possível identificar indícios quando se levantou os aspectos referentes ao conhecimento prévio das ferramentas e seu grau de dificuldade de aprendizagem, em que a situação atual da escolha das ferramentas de trabalho é feita a partir primeiramente do conhecimento prévio e da facilidade de uso das mesmas. As mais complexas e de difícil aprendizado somente são solicitadas quando não há tecnologia da informação disponível para adequar um ambiente virtual do processo de desenvolvimento de produtos.

Na análise das ferramentas feita no capítulo 5 observou-se que aquelas com maior índice de conhecimento e facilidade de uso são as que mais oferecem flexibilidade e aplicabilidade nos diferentes domínios. Foi o caso das ferramentas matriz morfológica, matriz QFD e síntese funcional. O ideal é que se tenha uma infra-estrutura informatizada que propicie um ambiente multidisciplinar com várias ferramentas que permitam construir todo o projeto de um produto com suas características classificadas por área de atuação seguindo os passos metodológicos do projeto consensual.

Esta realidade ainda não está disponível atualmente, pelo menos para pequenos grupos de projeto. Todavia, o emprego das ferramentas específicas de cada área foi utilizado no estudo de caso da bancada, gerando os resultados parciais desta pesquisa descritiva. O que mostra a possibilidade de aplicá-las desde que se siga uma metodologia bem definida, que otimize as atividades e auxiliem na organização dos conhecimentos existentes e na formação de novos. No caso, a metodologia de projeto consensual de Ferreira M. (1997) e Ogliari (1999) atendeu as especificações da bancada para ensaios de fadiga.

Pode-se seguramente dizer que a metodologia de projeto melhorou o processo de projeto da bancada, dando-lhe uma diretriz, pois, o caminho trilhado pela equipe de projeto já estava delineado. Isto considerando que o projeto nada mais é do que uma transformação de informações segundo um modelo consensual a vários tipos de problemas, que visa satisfazer certas necessidades, e que para isto o conhecimento em todas as suas formas é essencial. E, guardadas as devidas proporções da adequação de cada ferramenta com certos tipos de problemas, esta melhoria é tanto maior quanto mais adequada à metodologia for ao problema.

Ao buscar levantar o estado da arte dos temas comuns aos diferentes domínios pôde-se observar que o projeto informacional de um produto é comum a todas as áreas correlatas a mecatrônica. Todas buscam de alguma forma estabelecer o que se pretende alcançar. No estudo de caso da bancada não foi diferente. Levantou-se as necessidades dos clientes por meio de uma entrevista aonde as respostas foram listadas numa tabela. A forma, ou instrumento usado não é relevante. Contudo, o processo de análise das necessidades por meio de várias sessões de debates é recomendável num projeto multidisciplinar. Questões não percebidas em um momento do projeto puderam ser discutidas, propiciando uma nova reflexão sobre os itens compilados. Aqui de forma ainda implícita, as características mecatrônicas do produto começaram a delinear-se. Entretanto, foi a partir da aplicação da ferramenta síntese funcional que todos os subsistemas tornaram-se explícitos.

Nesta linha de raciocínio pode-se afirmar que uma avaliação processual do desenvolvimento ao final de cada fase é fundamental para permitir o amadurecimento do projeto. Para isto, torna-se necessário ter um sistema de controle das informações com registro histórico, a fim de permitir uma tomada de decisão por parte da equipe de projeto.

O projeto com equipes multidisciplinares permitiu levantar as necessidades e requisitos da bancada englobando as distintas especificidades das áreas que integram a mecatrônica. Isto pôde ser conferido na análise funcional quando a função global foi subdividida em subsistemas elementares que evidenciaram a necessidade de se ter mecanismos de controle de velocidade, força, etc. E, posteriormente quando foram levantados os princípios de solução por meio da matriz morfológica, ao se propor princípios que são da área de eletrônica, como sensores de carga, posição ou ainda um atuador como um motor elétrico servo assistido para acionar o eixo mecânico para aplicação dos ciclos de flexão.

Deste modo é possível concluir que quanto mais abrangente for a formação da equipe de projeto maior probabilidade das características multidisciplinares do produto aflorarem. Contudo, o gerenciamento da equipe torna-se mais complicada pelos fatores já expostos, em relação às dificuldades de integração entre as diferentes áreas.

A partir das análises das tabelas apresentadas no capítulo 4, é possível levantar algumas conclusões do trabalho quanto à aplicabilidade das ferramentas de DIP. Estas tabelas mostram que; de acordo com os membros da equipe, as ferramentas Matriz da casa da qualidade (QFD), matriz morfológica e a síntese funcional são as mais promissoras para desenvolver produtos com características mecatrônicas. Estas técnicas apresentaram os maiores índices de aprovação tanto na questão referente à aplicação em domínios diferentes, quanto nos critérios de aplicabilidade definidos na pesquisa: simplicidade, flexibilidade, confiabilidade e completude.

Na parte prática verificou-se que a Matriz QFD, no seu primeiro desdobramento, mostra-se como uma ferramenta de grande apoio para organizar e avaliar de modo criterioso as necessidades e requisitos de forma sintética e objetiva, permitindo ordenar as prioridades do projeto sem perda de foco. Num primeiro momento têm-se a impressão de um gasto excessivo de tempo, mas este processo de construção da casa da qualidade é o elemento motor para motivar a criatividade sem devaneios. Esta permite, de modo global, contemplar as necessidades do produto listadas pela equipe multidisciplinar, inclusive classificá-las dentro dos diferentes domínios.

Entretanto, percebe-se que é uma ferramenta bem genérica que pode ser aplicada a múltiplas áreas, inclusive externa as engenharias. Não evidenciando seu emprego exclusivo a produtos mecatrônicos. Mas, sua capacidade de análise e síntese é preponderante no desenvolvimento de um produto mecatrônico por permitir organizar e classificar desde a primeira fase do desenvolvimento as necessidades dos clientes nos distintos domínios. Deste modo, pode-se atribuir a ferramenta Matriz QFD o *'status'* de certo nível de importância para auxílio à implementação da Engenharia Simultânea.

Durante o desenvolvimento do estudo de caso, observou-se que a ferramenta da matriz da qualidade (QFD) associada à matriz contradição da TIPS mostrou-se formidável para avaliação dos requisitos e soluções dos conflitos existentes entre eles, permitindo explorar soluções em diferentes domínios de conhecimento. Entretanto, devido ao baixo nível de conhecimento de suas funcionalidades, por parte da equipe de projeto, conforme visto no capítulo anterior, a mesma ficou relegada a um segundo plano. Fato que corrobora com as afirmações de que o conhecimento das ferramentas é imprescindível para desenvolver um produto com boa desenvoltura.

A ferramenta matriz morfológica cumpre a função de estimular a criatividade na busca de soluções explicitando muitas vezes dispositivos, mecanismos, sensores, atuadores etc., do produto, e facilita a construção de diversas concepções. Esta característica pode ser

comprovada, por exemplo, no subsistema ‘ajustar parâmetros/dispositivo de aplicação de força’, onde foram apresentados seis princípios de solução: garra hidráulica, torquímetro, mola/dinamômetro, manual com mola, manual com extensômetro, amortecimento eletrônico (circuito RCL). Entretanto, não se consegue filtrar princípios inviáveis tecnologicamente ou visivelmente descartáveis, aumentando o número de combinações que serão analisadas e possivelmente inutilizadas por estarem fora das especificações do projeto. Este aspecto colabora para aumentar o tempo e custo do desenvolvimento do produto.

Assim como a matriz QFD permite implementar o trabalho em equipe multidisciplinar, a ferramenta síntese funcional se destaca por distinguir todas as áreas de um produto mecatrônico. É a partir da síntese funcional que todos os subsistemas do produto ficaram evidenciados, por exemplo, no subsistema ‘aplicar ciclos de flexão’ verifica-se a necessidade de dispositivos que controle a amplitude, força, monitore a temperatura, conte e armazene os ciclos de ensaio e permita visualizar estes resultados a medida ocorra o ensaio.

O estudo de caso da bancada revelou, por meio da síntese funcional, que todas as áreas envolvidas no projeto podem prosseguir paralelas em suas especificidades. Isto é, foi na segmentação da função global em funções básicas que se observou o que seria implementado na elétrica, eletrônica, mecânica e quais parâmetros e sinais seriam necessários para estabelecer o controle e desenvolver os códigos da programação. Tendo-se a compreensão do funcionamento do produto e suas interfaces foi possível modelar o sistema tanto na UML quanto em Rede de Petri. Mesmo que em caráter parcial, apenas para verificar a aplicabilidade da ferramenta.

A síntese funcional não explicitou, por exemplo, a forma que teria o atuador para flexionar o corpo de prova, nem o tipo de sensor que verificaria a posição da amostra ou que tipo de linguagem seria utilizado para estabelecer a interface do sistema de aquisição de dados com o sistema computacional ou com o usuário. Contudo, tornou visível que para os subsistemas desempenharem suas funções conforme estabelecidas nas especificações do projeto, estes fatores teriam que ser construídos (virar realidade, se tornar concreto).

As especificações de projeto auxiliaram a análise funcional da bancada. No entanto, ao elaborá-la, tem-se uma situação de desconforto, pois, sabe-se que o produto necessita realizar uma determinada função, entretanto, ainda não se estabelece os dispositivos de atuação ou monitoramento. Este aspecto torna a ferramenta bem abstrata, indo de encontro ao pragmatismo dos engenheiros que compõe a equipe de projeto, visto que a tendência é sugerir, de imediato, soluções prontas e já consolidadas. Isto pode ser um empecilho para a criatividade e necessita um cuidado especial por parte da equipe de projeto.

Prosseguindo na busca de respostas as questões formuladas sobre a aplicabilidade das ferramentas DIP, o estudo de caso da bancada permitiu constatar que 86% dos entrevistados consideram a síntese funcional a ferramenta com maior probabilidade de aplicação nos diferentes domínios, além de diferir da matriz morfológica, que obteve maior índice; em apenas 1,32 pontos percentuais, nos itens referentes à flexibilidade, simplicidade, confiabilidade e completude. Se considerarmos também os aspectos já relacionados anteriormente é possível concluir que a ferramenta síntese funcional detém as melhores características para que ocorra um desenvolvimento integrado de produtos que propicie melhorias significativas na qualidade dos projetos multidisciplinares, como no caso da bancada para ensaios de fadiga.

Dentre as ferramentas que envolveram as áreas de controle e software o diagrama de blocos é o mais simples de ser visualizado e construído, entretanto, é bastante complexo implementá-lo, visto que não se conhece o comportamento prévio do sistema e, portanto, construir as equações de estados para o controle não foi tarefa trivial, ficando assim deixada para trabalhos futuros. Os diagramas de modelagem da UML foram parcialmente construídos, a partir da síntese funcional, com um especialista em sistemas computacionais. O objetivo foi

verificar a possibilidade de estabelecer os diagramas a partir da análise funcional, o que foi plenamente comprovado, conforme apresentados na descrição da bancada. Contudo, estes diagramas não estão completos e precisam ser refinados e concluídos também em trabalhos futuros.

Por fim, a rede de Petri (RdP) do subsistema ‘aplicar ciclos’ foi modelada e simulada por meio do software Visobjnet++, mostrando também a possibilidade de uso de uma ferramenta de modelagem dinâmica do sistema. Ficou evidente a dificuldade de aprendizado da ferramenta com suas múltiplas condições (estados, transições, arcos etc.) para construção e estabelecimento das condições iniciais do sistema. Seguir uma seqüência metodológica bem mapeada é recomendável, sem a qual, tornar-se-ia longo e árduo o processo de sua modelagem.

É importante ressaltar que, somente após a geração da concepção do produto foi possível analisar a viabilidade tecnológica e econômica da solução escolhida. Este fato mostra quão importante é seguir uma metodologia que permita registrar as informações consolidadas em cada fase, pois, uma decisão inicial imatura por parte da equipe de projeto, pode comprometer significativamente os resultados finais do produto. Em se tratando de produtos mecatrônicos, esta decisão é complexa, pois envolve inúmeros fatores relativos a distintos domínios de conhecimento, conforme já explanados no decorrer deste trabalho.

3. Conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros

O projeto de alguns tipos de sistemas técnicos já possui metodologia e ferramentas próprias que evoluem rapidamente e de forma contínua devido ao alto grau de inovações tecnológicas e emprego em larga escala, como é o caso de aparelhos celulares, computadores etc. No entanto, algumas classes de sistemas técnicos, como a de máquinas para realizar ensaios, ainda não possuem uma metodologia e ferramental específico para um projeto estabelecido, o que pode provocar um número bastante grande de dificuldades quanto a sua criação, inovação e atualização, o que não significa que estes tipos de sistema não sejam projetados e construídos. Isto pôde ser observado no estudo de caso da bancada para ensaios de fadiga, aqui descrita. Todavia, ainda estão relativamente fragmentados.

As afirmações de Negri (1997 *apud* SANTOS, 2003) corroboram para o que foi descrito. Segundo o autor, o projeto de sistemas automáticos tem sido conduzido tradicionalmente de acordo com as orientações dadas pelos fabricantes de hardware e de aplicativos computacionais, pressupondo que o projeto físico já esteja concebido ou implementado. Embora a equipe de projeto tendo sido constituída de forma multidisciplinar, englobando indivíduos de várias áreas, após conceber uma solução, ainda constataram que os especialistas em controle mantiveram a preferência em estabelecer os diagramas de controle após uma concepção física da bancada ratificando as observações de Bonfe et al (2002). Esta situação de projeto está parcialmente descrita no desenvolvimento da bancada de ensaios, apesar de ter como proposta um desenvolvimento integrado, algumas etapas transcorreu conforme a prática comum (parcialmente integrado), como explanado anteriormente.

As ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos podem ser utilizadas com as devidas restrições e cuidados, desde que guiadas por uma equipe multidisciplinar que tenha domínio de suas funcionalidades. Este processo permitiu que os componentes da equipe adquirissem familiaridade com seu emprego e deu-se início ao processo de reeducação estimulando a criação de uma cultura para desenvolver produtos mais complexos com características mecatrônicas.

Ao término deste processo de desenvolvimento da bancada pôde-se perceber uma maior interação entre os componentes da equipe de projeto, visto que conviveram por muitas

horas pensando e aplicando as diversas ferramentas em várias fases do projeto. Nesta linha pode-se inferir que quanto maior for esta afinidade da equipe melhor a qualidade dos seus resultados. O que pode ter como parâmetro de avaliação o atendimento satisfatório às especificações definidas no projeto informacional.

Finalmente pode-se ressaltar do estudo de caso da bancada a necessidade de estabelecer uma metodologia que priorize as ferramentas da casa da qualidade e da síntese funcional, nas suas respectivas etapas, informacional e conceitual por meio de equipes multidisciplinares, vistos que estas foram evidenciadas neste estudo como as mais promissoras para fundamentar o projeto de produtos multidisciplinares. Os passos metodológicos podem ser transformados em software que permitam entrar com as necessidades e requisitos, assim como os valores ponderados atribuídos pelos clientes, e gerar como saída os requisitos funcionais ou especificações do projeto em ordem de prioridades. Deste modo ter-se-ia ganho de tempo numa das fases mais demoradas do projeto, conforme opinião dos entrevistados.

Convém destacar que já existe, em fase de experimentação projetos como o do grupo de engenharia de produtos e processos da UFSC, USP e UFSCAR, que propõe uma arquitetura para implementação de sistemas computacionais colaborativos que buscam auxiliar as fases do processo de projeto informacional e conceitual; aonde as ferramentas específicas de gerenciamento de projetos e comunicação são estruturadas baseadas numa metodologia de projetos. Maiores detalhes podem ser obtidos na homepage: www.pdp.org.br; ou em trabalhos como o de FERREIRA (2006). Todavia, faz-se necessário testar a amplitude e validação para sistemas com características mecatrônicas, conforme a bancada de ensaios.

Este trabalho também pode servir como base para uma avaliação de alguma das estruturas propostas por um destes grupos de pesquisa, no projeto de um produto mecatrônico, como no caso da bancada e estabelecer comparações entre o que foi descrito aqui e o obtido com a nova estrutura desenvolvida pelos referidos grupos de pesquisas.

Há também propostas de trabalhos futuros visando à conclusão do projeto detalhado da bancada e construção de um protótipo para testes e validação. Para tanto, são necessários também o desenvolvimento de toda a estrutura de controle utilizando uma das ferramentas de projeto de controle, além de escrever os códigos de programação (estruturada ou orientada a objetos) que permitirão o sistema de aquisição de dados, o usuário e o sistema computacional comunicar entre si. Isto permitirá que a bancada para ensaios de fadiga cumpra seu requisito funcional de gerar os relatórios parciais e totais do ensaio de fadiga.

Grupos de pesquisas voltados para área de software podem refinar toda a estrutura de modelagem de programação orientada a objetos, via UML e implementar toda a rede de Petri da bancada permitindo uma visualização dinâmica do seu funcionamento através do MATLAB ou do próprio Visobjnet++.

Algumas sugestões de temas para trabalhos futuros podem ser apresentadas como segue:

1. Aplicação da Rede de Petri temporizada na modelagem de uma bancada para ensaios de fadiga em plásticos.
2. Modelagem em UML do sistema de controle de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.
3. Aplicação dos diagramas de blocos para controle de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.