

CAPÍTULO 4

ASPECTOS COMPLEMENTARES: AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS SOB O PONTO DE VISTA DA EQUIPE DE PROJETOS

1. Introdução

Este trabalho como tem sido alentado, de modo geral, buscou acompanhar uma equipe multidisciplinar no projeto de um produto mecatrônico, que foi a bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, visando analisar o processo e uso de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produto, que comumente são usados nos projetos das diferentes áreas correlatas a mecatrônica: Elétrica, Mecânica, Automação e Computação.

Tendo como um dos objetivos específico responder a questões, do tipo: Será que as ferramentas utilizadas em cada área distinta são apropriadas, eficientes para desenvolver um produto multidisciplinar? É necessário e possível desenvolver uma ferramenta que permita gerenciar as informações e descrever de modo confiável todas as partes de um projeto mecatrônico, de modo integrado com todas as suas especificidades, entre outras?

Além destas questões há também de estabelecer os critérios que caracterizam o uso das ferramentas de desenvolvimento utilizadas e qual instrumento de pesquisa proporcionaria alcançar os resultados das questões postuladas no capítulo 1. Sendo assim, o método científico de investigação sugere que se empreguem operações mentais e técnicas para estabelecer a linha de raciocínio do processo de pesquisa. Contudo, a escolha das técnicas e métodos depende de diferentes fatores, que vão desde os objetivos até o tipo de pesquisa adotada.

2. Metodologia de Avaliação

Dentre as várias definições de avaliação encontradas, observa-se que existe uma enorme diversidade de foco, umas enfatizando a coleta de dados, outras a tomada de decisão, etc. Segundo Gipps (1998 *apud* Maia, Mendonça e Góes, 2005), está em curso uma mudança de paradigma na área de avaliação, passando de um modelo de testes e exames que valoriza a medição das quantidades aprendidas de conhecimentos transmitidos para um modelo onde os aprendizes terão oportunidade de demonstrar o conhecimento que construíram, como construíram, o que entendem e o que podem fazer, ou seja, um modelo valorizador das aprendizagens quantitativas e qualitativas no decorrer do próprio processo de aprendizagem.

A avaliação, portanto, deve ser vista como um meio para a percepção, para o diagnóstico e para a análise de problemas no aprendizado. Assim, devido a esta diversidade, Bloom, Hasting e Madaus (1971); já propunha não uma definição de avaliação, mas sim, uma mostra das várias dimensões deste conceito.

- A avaliação é um método de coleta e de processamento dos dados necessários à melhoria dos processos de construção e aperfeiçoamento de um produto.
- A avaliação inclui uma grande variedade de dados.

- A avaliação auxilia no esclarecimento das metas e dos objetivos considerados de importância e consiste num processo de determinação da medida de referência do que se quer alcançar.
- A avaliação é um sistema de controle de qualidade pelo qual se pode determinar a cada passo o processo, se este está sendo eficaz ou não; e caso não esteja, indica que mudanças devem ser feitas a fim de assegurar sua eficácia.
- Finalmente, a avaliação é um instrumento que permite verificar se os procedimentos alternativos são igualmente eficazes na consecução de uma série de objetivos definidos na concepção do produto.

Dentre estas dimensões, vale ressaltar a que define avaliação como controle de qualidade, chamando a atenção para a abrangência da avaliação, cujos resultados não demonstram aspectos unicamente do produto (atende os requisitos ou não), mas também, pode indicar falha no processo e/ou método adotado no decorrer de seu ciclo de desenvolvimento.

Entretanto, observa-se que de uma maneira geral este conceito ainda é difuso, genérico e complicado. De modo mais específico e limitado, pode-se subdividi-la em termos mais pragmáticos. Onde, segundo Haydt (2000), testar, medir e avaliar são termos distintos, sendo importante ter conhecimento de suas diferenças.

- Testar significa submeter a um teste ou experiência, isto é, consiste em verificar o desempenho de alguém ou alguma coisa (um material, uma máquina etc.), através de situações previamente organizadas, chamadas testes.
- Medir significa determinar a quantidade, a extensão ou o grau de alguma coisa, tendo por base um sistema de unidades convencionais.
- Avaliar é julgar ou fazer a apreciação de alguém ou alguma coisa, consiste na coleta de dados quantitativos e qualitativos e na interpretação desses resultados com base em critérios previamente definidos.

A figura 67 visa demonstrar o aspecto de inserção destas camadas entre si, ou seja, apresenta o teste como um dos instrumentos que pode ser utilizados para medir enquanto que a medição é um dos recursos que podem ser usados no processo de avaliação.

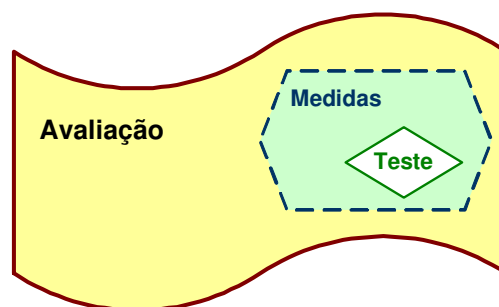


Figura 67 – Contexto de uma avaliação, medidas e teste.

De acordo com os estudos referentes à metodologia da pesquisa, estas podem ser classificadas quanto aos seus objetivos, em: descritivas, explicativas e exploratórias. As pesquisas descritivas têm como foco descrever um fenômeno (evento), já as pesquisas explicativas buscam estabelecer as relações de causa e efeito, ou seja, entender o motivo pelo qual o fenômeno (evento) se desenvolve no decorrer do tempo. Enquanto as pesquisas exploratórias procuram abrir novas fronteiras do conhecimento e construir hipóteses.

Portanto, este trabalho quanto aos seus objetivos tem uma abordagem descritiva. E quanto às estratégias de ação tem como foco um estudo de caso. Que segundo Castro (1999 *apud* Guerrero, 2001) é uma solução para situações onde não é possível um estudo condensado, isto é, que envolva uma amostragem estatística significativa.

Enquanto para Yin (1994 *apud* Guerrero, 2001), um estudo de caso é uma investigação empírica que permite tratar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, e, Gil (1991 *apud* Guerrero, 2001), recomenda o estudo de caso quando se pretende estabelecer uma averiguação mais profunda de uma ou poucas amostras de análise de modo a permitir seu amplo e detalhado conhecimento.

Embora, segundo Yin (1994 *apud* Guerrero, 2001), as estratégias de ação dependam de três fatores (critérios): o tipo da questão de pesquisa, o nível de controle que o pesquisador pode exercer sobre o evento e o foco da pesquisa em fatos contemporâneos ou históricos. Têm-se também o modo como os dados serão manipulados: de forma qualitativa ou quantitativa, e que estarão vinculados diretamente às técnicas de coleta dos dados, que por sua vez, segundo Yin (1994 *apud* Guerrero, 2001), pode ser do tipo: entrevista, questionário, documentação, arquivos, observação direta, observação participante ou análise de objetos físicos.

Na tabela 19, a seguir, tem-se uma comparação típica de algumas estratégias em relação a estes critérios.

Tabela 19 – Comparação entre diferentes estratégias de Pesquisa

Estratégias	Tipo de questão de projeto	Exige controle sobre eventos?	Há foco em eventos contemporâneos?
Experimental	Como?, Por quê?	Sim	Sim
Survey (sondagem)	Quem?, O quê?, Onde?, Quantos?	Não	Sim
Análise de arquivo	Quem?, O quê?, Onde?, Quantos?	Não	Sim e Não
Histórica	Como?, Por quê?	Não	Não
Estudo de caso	Como?, Por quê?	Não	Sim

Fonte: COSMO Corporation (YIN, 1994 *apud* Guerrero, 2001)

Uma tentativa de sintetizar o que foi abordado anteriormente, com as principais características metodológicas estabelecendo uma seqüência lógica para tomada de decisões, é representada na figura 68. Também em destaque (amarelo), têm-se a abordagem adotada para os vários aspectos levantados, ou seja, buscou-se um estudo de caso com revisão da literatura. Este é apresentado de forma descritiva, no qual uma parcela dos dados para avaliação das ferramentas será levantada por meio de um questionário e receberá um tratamento qualitativo por se enquadrar melhor na estratégia do estudo de caso.

De modo algum se pretende esgotar o campo metodológico da pesquisa na abordagem aqui descrita, apenas apresenta-se uma visão (amostragem) do vasto conhecimento científico disponível.

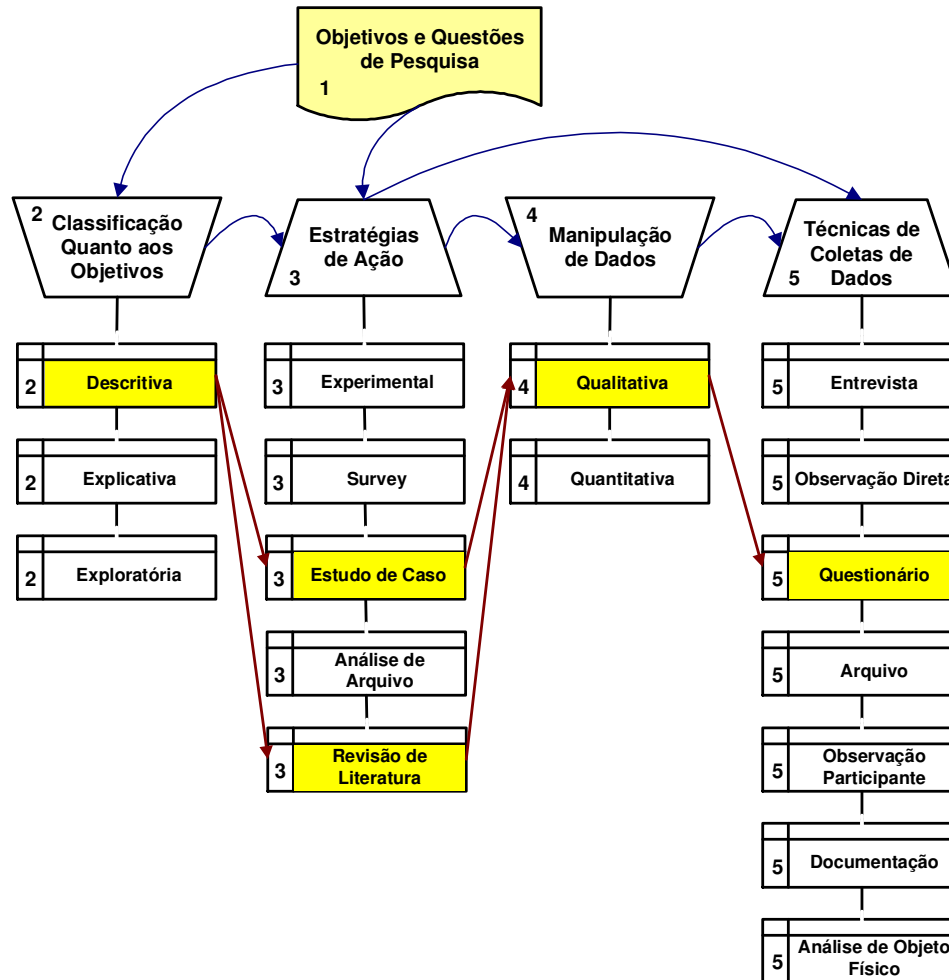


Figura 68 – Síntese das características metodológicas (adaptado: Guerrero, 2001).

Embora o estudo de caso apresente características positivas, como: aproximar o pesquisador do problema estudado; aprofundar as questões levantadas do próprio problema investigando o fenômeno dentro de seu contexto real e levantar informações e proposições para serem estudadas à luz de métodos mais rigorosos de experimentação; ela também traz consigo limitações, como: não permitir generalizações das conclusões nem dos processos ou situações obtidas e depende da precisão com que as informações foram construídas pela equipe de projeto.

3. Instrumento de Avaliação

A avaliação foi realizada observando a influência do uso das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, dentro da metodologia de projeto sugerido pela engenharia simultânea; em relação à qualidade dos resultados, conforme proposto inicialmente, além de estabelecer fronteiras, conceituar processo de projeto, conhecimento e qualidade, a qual se entende dentro deste escopo, como uma capacidade de atender bem as expectativas dos clientes.

Para auxiliar o processo de análise foi construído um instrumento de avaliação (questionário orientado), que aplicado aos clientes (componentes da equipe de projeto) permitiu levantar alguns dados, opiniões, que contribua para a avaliação do uso das ferramentas de desenvolvimento integrado de produto no estudo de caso da bancada.

Um questionário é tão somente um conjunto de questões, feito para gerar os dados necessários para se atingir às metas do trabalho em estudo. E construí-lo não é uma tarefa trivial, visto que não existe uma metodologia padrão para projeto de questionários, apenas recomendações de diversos autores (CHAGAS, 2000).

Baseado nas observações e cuidados necessários à construção de um questionário de pesquisa científica, apresentados por Chagas (2000), formulou-se um questionário que está inserido no apêndice D. Este inclui questões ligadas diretamente ao estudo da bancada para ensaios de fadiga, quanto ao uso das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos. É evidente, que o instrumento não pretende englobar todos os aspectos do trabalho. Para tal finalidade, são necessários aprimoramentos mais detalhados, entretanto, cumpre sua finalidade de atingir de modo rápido parte dos objetivos da pesquisa ora em foco.

O instrumento de pesquisa foi encaminhado a todos os participantes da equipe de projeto e mais três membros colaboradores que não participaram integralmente do projeto de desenvolvimento da bancada, mas emitiram opiniões esporádicas quando solicitados e têm noções sobre o processo de desenvolvimento e suas ferramentas. Inicialmente a equipe foi composta por seis pessoas e posteriormente agregaram-se mais dois, excluindo-se aqui os especialistas da área de controle e elétrica. Do total de dez questionários encaminhados até o fechamento das análises houve retorno de sete, sendo quatro de pessoas ligadas diretamente ao desenvolvimento da bancada e três de pessoas colaboradoras não vinculadas.

O questionário foi subdividido em duas partes: A primeira de caráter objetiva buscou caracterizar as ferramentas de desenvolvimento integrado no projeto da bancada para ensaios por meio de sete questões, atribuindo valores e conceitos a dez ferramentas utilizadas no projeto da bancada. A segunda de cunho subjetivo buscou caracterizar o processo de desenvolvimento, coletando as opiniões dos componentes da equipe de projeto.

Em se tratando de um estudo de caso, a aplicação dos resultados traz suas limitações no escopo do problema, entretanto, este estudo pode ser utilizado como referência para comparação em outros projetos com características similares.

4. Critérios de Avaliação

A questão norteadora deste estudo está em verificar a aplicação de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, comumente utilizadas em suas áreas específicas, como as engenharias mecânica, elétrica, automação e sistemas computacionais, no projeto de um produto mecatrônico. Onde os limites de atuação estão cada vez mais se tornando entrelaçadas pelos constantes avanços tecnológicos.

Atualmente verifica-se que os dispositivos mecânicos estão sendo paulatinamente substituídos por dispositivos eletrônicos que trazem embarcados todo um aparato de hardware e software. Contudo, os projetos continuam sendo executados com os mesmos ferramentais. Será que esta fusão aumentando a complexidade dos produtos não exige novas ferramentas de desenvolvimento?

Para se estabelecer a escolha dos critérios que balizaria a avaliação das ferramentas, partiu-se do pressuposto de que as ferramentas selecionadas para desenvolver produtos, em qualquer das áreas aqui destacadas, trazem no seu emprego específico, informações relevantes e custo variável. E ainda que, nenhuma delas está isenta de erros, visto que uma das características para imprecisão está no aspecto relacionado a transformações de dados incorretos.

Sendo assim, dos oitos critérios listados na pesquisa para avaliar a aplicabilidade e qualidade de algumas das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos foram dado destaque prioritariamente a quatro das características apontadas por Guerrero (2001). Deste

modo, buscou-se a simplificação das análises, sem, entretanto comprometer os resultados do trabalho. Os quatro critérios considerados são descritos a seguir:

1. A simplicidade – no qual a ferramenta deve estar limitada aos aspectos essenciais, sem complexidade desnecessária,
2. A flexibilidade – na qual a ferramenta pode ser utilizada para diversas finalidades e áreas, onde quanto maior o número de decisões possa ser tomado com uma determinada aplicação maior será sua flexibilidade e qualidade,
3. A confiabilidade – na qual expressa sua qualidade, visto que grande parte desta característica está associada à origem da informação, no caso, oriunda das necessidades dos clientes e requisitos do projeto.
4. A completude – na qual a ferramenta contém todos os parâmetros importantes que compõem seu significado.

A característica relacionada à disponibilidade de tempo da ferramenta não foi considerada crítica, pois as mesmas não dependem de máquinas ou sistemas computacionais robustos para emprego ou implementação.

5. Avaliação das Ferramentas

Os desafios para estabelecer procedimentos que avaliem de forma qualitativa e quantitativa um projeto mecatrônico, que abarque as diversas áreas afins são enormes e aumentam à medida que aumenta o grau de integração (automação) e complexidade das implementações requeridas.

A análise estatística dos dados coletados permitiu organizar e obter melhores informações, de modo mais consistentes, tirando delas suas consequências para descrição e possíveis explicações do uso das ferramentas de desenvolvimento no projeto de produtos mecatrônicos.

As questões de n^{os} 1 – Atribuir valores as ferramentas segundo os critérios abordados, e 7 – Como vê a aplicação das ferramentas em diferentes domínios, envolvendo atribuições de valores, foram organizados e sintetizados em tabelas, sendo determinado as médias ponderadas para cada subitem, conforme expressões 4 e 5, respectivamente.

$$(4) M_p = \frac{((q_1 \bullet p_1) + (q_2 \bullet p_2) + (q_3 \bullet p_3) + (q_4 \bullet p_4) + (q_5 \bullet p_5))}{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)}$$

Onde p são os pesos (1, 2, 3, 4 e 5) e q as quantidades de respostas dadas em cada item.

$$(5) M_p = \frac{((q_1 \bullet p_1) + (q_2 \bullet p_2) + (q_3 \bullet p_3))}{(p_1 + p_2 + p_3)}$$

Onde p são os pesos (1, 2 e 3) e q as quantidades de respostas dadas em cada item.

Os pesos na questão de n^o1 variaram de 1 a 5 para permitir maior refinamento na análise dos critérios propostos. Enquanto na questão de n^o7 a variação foi de 1 a 3, suficiente para permitir a análise de aplicabilidade dos diferentes domínios de conhecimento.

Os valores máximos para as expressões (4) e (5) são $\frac{35}{15} \cong 2,33$ e $\frac{21}{6} \cong 3,50$, respectivamente. Estes valores foram normalizados para uma escala variando entre 1 e 10, permitindo assim uma melhor compreensão dos resultados.

Em seguida calculou-se a média aritmética para se estabelecer uma visão global de cada ferramenta, conforme expressões 6 e 7. E por fim, levantou-se os desvios médios, desvios padrão, desvios percentuais e a variância em torno do ponto central.

$$(6) M_A = \frac{M_{P1} + M_{P2} + M_{P3} + M_{P4} + M_{P5} + M_{P6} + M_{P7} + M_{P8}}{8}, \text{ para questão de nº1}$$

e

$$(7) M_A = \frac{M_{P1} + M_{P2} + M_{P3} + M_{P4}}{4}, \text{ para a questão de nº7.}$$

As respostas completas (sintetizadas) do instrumento pesquisa encontram-se inseridos no apêndice **H** e as tabelas completas referentes às questões de nºs 1 e 7 são apresentadas no apêndice **I**.

Pode-se verificar, por exemplo, por meio da resposta à questão de nº4 – sobre o conhecimento de outras ferramentas que poderiam ser aplicadas; uma limitação quanto ao uso de outras ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, visto que todos os pesquisados, ou deixaram em branco ou informaram desconhecer outro tipo de ferramenta. Provavelmente a escolha do emprego destas ferramentas esteja associada à vivência constante e uso mais comum dentro da equipe de projeto.

Este aspecto é levantado na análise do quesito de nº3 – quanto ao conhecimento prévio das ferramentas, que apenas um componente da equipe de projeto detinha conhecimento abaixo de 50%; enquanto do grupo externo ao projeto, apenas um detinha conhecimento acima de 50% das ferramentas de desenvolvimento listadas. Os gráficos da figura 69 apresentam os valores globais.

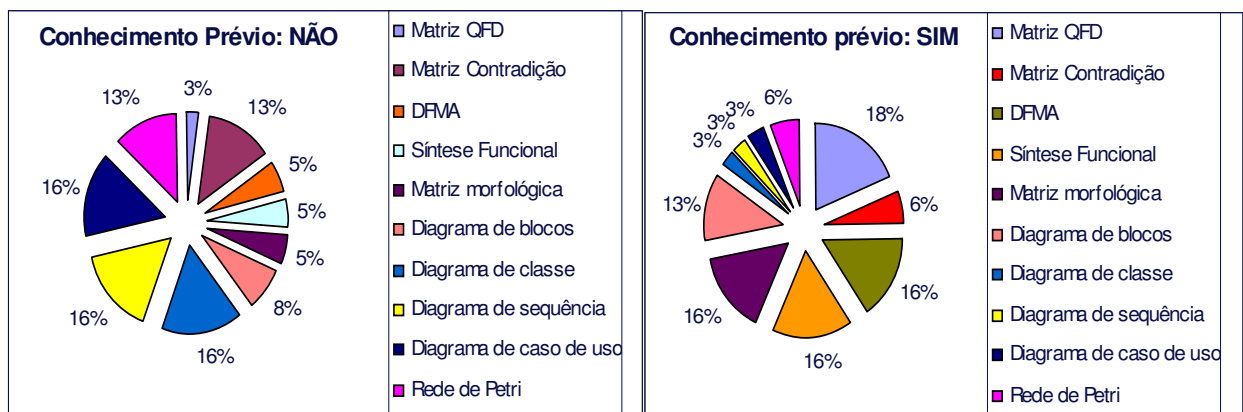


Figura 69 – Síntese das respostas da 3ª questão (valores globais).

Observou-se também que as ferramentas: matriz QFD, Síntese funcional, DFMA, matriz morfológica possuem o maior índice de conhecimento prévio, respectivamente; enquanto, as ferramentas voltadas ao controle e modelagem do sistema: diagramas de classe, sequência, caso de uso, rede de Petri e diagrama de blocos; os piores índices de conhecimento prévio.

Na questão de nº5 – quanto à classificação do nível de dificuldade no processo de aprendizagem das ferramentas verificou-se que 80 a 90% dos pesquisados consideraram fácil

ou moderado o processo de aprendizagem das ferramentas. Enquanto, a ferramenta classificada como maior nível de dificuldade foi a Rede de Petri. Estes resultados podem ser visualizados no gráfico da figura 70.

Enquanto o quesito de nº6 – referente ao emprego das ferramentas em novos projetos, observa-se que a ferramenta ‘síntese funcional’ é considerada fundamental por 86% (6/7) dos pesquisados, e 75% (3/4) pela equipe de projeto da bancada, sem índice de rejeição, isto é, nenhum pesquisado considerou-a ‘prescindível’. O gráfico da figura 71 ilustra melhor estes dados.

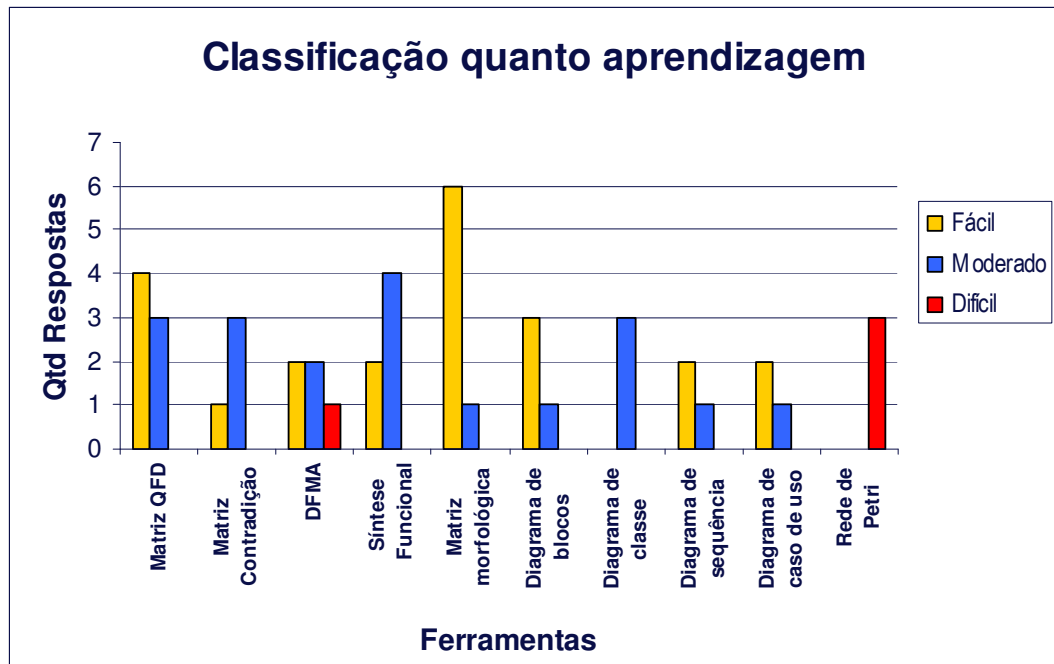


Figura 70 – Síntese das respostas da 5ª questão (valores globais).

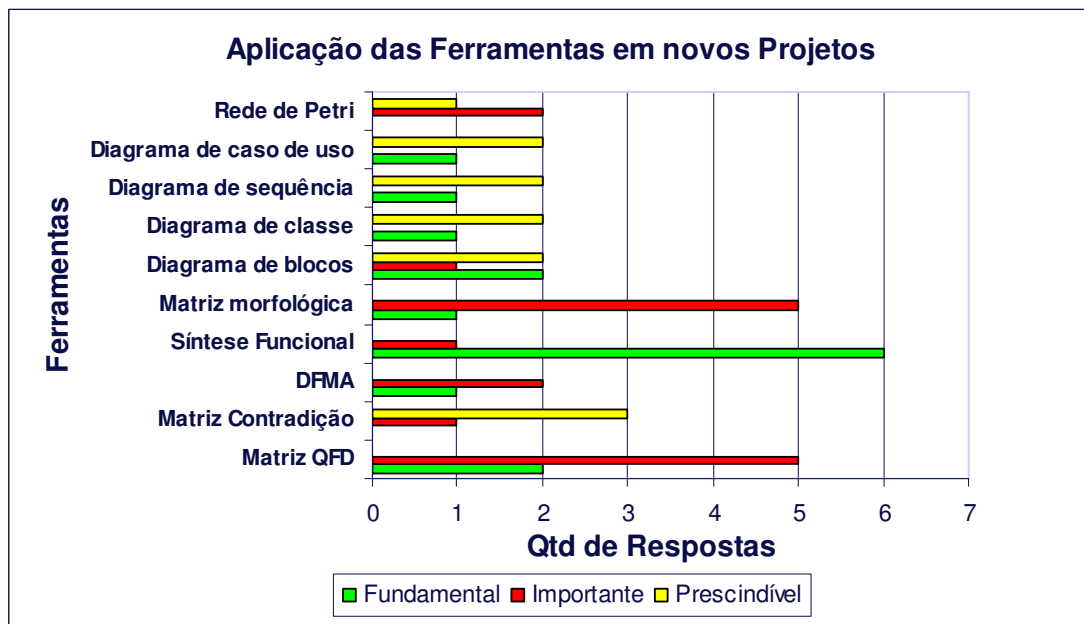


Figura 71 – Síntese das respostas da 6ª questão (valores globais).

As ferramentas: matriz morfológica e QFD são classificadas como importantes por 70 a 80% dos pesquisados, também sem índice de rejeição (prescindível). Interessante notar que a ferramenta: matriz contradição (TIPS) obteve índice global de reprovação (prescindível) de 43% (3/7), sendo que corresponde a 75% (3/4) da equipe de projeto, provavelmente por tratar-se de uma ferramenta pouco conhecida, por parte da equipe de desenvolvimento de projeto.

As questões de nº1 – classificação nos critérios, 2 – aspectos positivos e negativos das ferramentas e 7 – aplicação em diferentes domínios, da parte objetiva e a questão de nº1 – referente a processo de desenvolvimento aplicando as ferramentas; da parte subjetiva são apresentadas pontualmente a seguir, por caracterizar melhor a aplicabilidade das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos no estudo de caso da bancada para ensaios de fadiga. Os resultados gerais e completos estão nos apêndices **H** e **I**, conforme já referido.

A ordem de apresentação das ferramentas segue a estabelecida no instrumento de pesquisa, ou seja, primeiro a matriz QFD seguida da matriz contradição e assim sucessivamente. Enquanto a ordem de apresentação das respostas foi da sétima para a primeira, ou seja, primeiramente apresentou-se a aplicabilidade da ferramenta em diferentes domínios, seguido das descrições dos aspectos relevantes (questão de nº2) e por fim a questão de nº1, referente aos critérios de flexibilidade, confiabilidade etc., das ferramentas. Esta seqüência de apresentação pareceu ser mais didática.

As opiniões referentes ao processo, questão de nº1, da parte subjetiva, serão inseridas conforme descrito pelos pesquisados com alguns comentários finais.

5.1 Matriz QFD

A ferramenta da casa da qualidade (QFD) apresentou um alto valor de admissão nas diferentes áreas de conhecimento. Dentre as ferramentas listadas é aquela ocupa a primeira colocação com média de 7,98 e 9,52 na área da engenharia mecânica, apenas 0,48 do valor global máximo (10). Isto corresponde a aproximadamente 95%. A tabela 20 mostra os valores médios obtidos.

Tabela 20 – Aplicação da QFD em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz QFD	9,52	7,62	7,62	7,14	7,98	0,77	9,70

As colunas iniciais representam às médias ponderadas em cada domínio: mecânica, elétrica, eletrônica e software. A coluna média representa a média aritmética das médias ponderadas. O desvio médio é de 0,77 em torno da média, e isto representa 9,7%. Segundo os pesquisados, ela é abrangente e possibilita que seus usuários interajam e extraiam muitas informações, contudo, seu emprego é trabalhoso e demanda muito tempo, conforme apresentado na tabela 21.

Tabela 21 – Aspectos positivos e negativos da QFD.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz QFD	Abrangência, organização das idéias, abrangência e quantificação das variáveis (para fins comparativos), permite o entendimento do problema, Iteração da equipe, organização das	Estática e não dinâmica, complexidade, muito trabalhoso, informações subjetivas, perde muito tempo, gera muita discussão e pode demorar muito tempo, tornando-se cansativa, tempo de

	informações, seqüência os requisitos mais importantes, permite a participação de todo grupo de projeto e serve para analisar uma grande quantidade de características importantes para o desenvolvimento do produto, capacidade de síntese do processo informacional.	conclusão extremamente demorado e cansativo.
--	---	--

Quanto a sua caracterização em termos dos critérios pré-definidos ela encontra-se em terceiro lugar com índice de confiabilidade (8,37) superior as demais ferramentas de desenvolvimento. O desvio médio é de 0,83; representando 10,41% em torno do ponto central. Este resumo é mostrado na tabela 22, a seguir.

Tabela 22 – Caracterização da matriz QFD quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz QFD	6,29	8,00	8,83	8,57	8,37	9,29	6,86	7,39	7,95	0,83	10,41

5.2 Matriz Contradição (TIPS)

A matriz contradição da TIPS é uma ferramenta pouco conhecida por parte dos pesquisados, apenas 28% (2/7), além de ser considerada prescindível por 43% (3/7) da amostragem. Quanto sua aplicação em domínios diferentes obteve uma média inferior a outras ferramentas desconhecidas por parte da equipe, como por exemplo, a ferramenta diagrama de blocos. Sua média global foi de 3,69 com desvio médio de 1,55; representando um percentual de 41,94% em torno da média. A tabela 23 apresenta estes dados.

Tabela 23 – Aplicação da Matriz contradição em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz Contradição	5,24	5,24	0,95	3,33	3,69	1,55	41,94

Segundo os dados referentes aos aspectos positivos e negativos, a ferramenta da matriz contradição é importante para solucionar conflitos desde que se tenha conhecimento aprofundado de sua dinâmica de construção. A tabela 24 ilustra estes aspectos levantados.

Tabela 24 – Aspectos positivos e negativos da matriz contradição.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz Contradição	Aflora os pontos negativos, boa pra checar os prós e os contra de cada requisito, e assim dar prioridade, permite definir o que é importante ou não para o produto, comparar os conflitos e propor soluções.	Muito restrita, perde-se muito tempo, é muito subjetiva, difícil construção.

Considerando as respostas dos que detinham conhecimento da matriz contradição verifica-se tanto nas médias ponderadas quanto na média global certa estabilidade quanto sua aplicabilidade, com pequeno desvio de 0,57; entretanto este valor corresponde a 10,94% em torno do valor médio. Na questão referente à aplicação em novos projetos apresentou maior índice de rejeição (prescindível), figura 71. A tabela 25 mostra sua classificação quanto aos critérios de aplicabilidade.

Tabela 25 – Caracterização da matriz contradição quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz Contradição	4,29	4,86	6,55	5,72	5,02	5,62	4,71	4,86	5,20	0,57	10,94

5.3 A ferramenta DFMA

A ferramenta DFMA era conhecida por 71% (5/7) dos pesquisados e 100% pela equipe de projeto, contudo apenas 14% (1/7) a considera fundamental em novos projetos. Obteve média de 4,05, com erro de 1,43 correspondentes a 35,29% em relação à média. A tabela 26 mostra estes dados sumarizados.

Tabela 26 – Aplicação da ferramenta DFMA em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
DFMA	6,67	4,29	2,86	2,38	4,05	1,43	35,29

Como característica relevante pode-se verificar sua facilidade de aprendizagem, com abordagem simples, embora exija conhecimento de processos de fabricação. Há aspectos que pode apresentar conflito com os princípios inventivos da TIPS, como: a segmentação (princípio inventivo nº1) e a assimetria (princípio inventivo nº4), visto que, simplificar o produto e reduzir o número de partes são princípios básicos da ferramenta DFMA. A tabela 27 apresenta os aspectos relatados pela pesquisa.

Tabela 27 – Aspectos positivos e negativos da ferramenta DFMA.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
DFMA	Abordagem simples; permite reavaliar a solução pontualmente, boa ferramenta organizacional; evita erros e diminui custos de fabricação do produto; de fácil aprendizado e implementação.	Restrita, muito trabalhoso o ganho nem sempre é relevante, ferramenta incompleta, isto é, depende de outras ferramentas, exige conhecimento de processos de fabricação e de muito detalhamento do produto, não pode ser aplicado sem restrições. Há aspectos que conflitam com a matriz contradição.

A ferramenta DFMA é considerada com alto grau de flexibilidade por 33% (2/6) dos pesquisados e 50% (3/6) atribuíram nível médio (6,0 a 6,45) para os critérios de simplicidade, completude e confiabilidade. A tabela 28 resume esta análise.

Tabela 28 – Caracterização da ferramenta DFMA quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
DFMA	5,72	6,00	6,66	6,86	6,45	6,71	6,41	5,72	6,32	0,38	5,99

5.4 Síntese funcional

A síntese funcional ocupou a segunda colocação dentre as ferramentas de maior aplicação em domínios diferentes, com média de 7,50; além de ser considerada aplicável em novos projetos por 86% (6/7) dos pesquisados (figura 71) e 100% da equipe de projetos. Toda equipe detinha conhecimento da ferramenta e acima de 66% a consideraram de aprendizado moderado a fácil (figura 70). A tabela 29 apresenta estes resultados.

Tabela 29 – Aplicação da Síntese funcional em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Síntese Funcional	9,52	7,14	7,14	6,19	7,50	1,01	13,49

Esta ferramenta é fundamental e importante nas diversas áreas permitindo identificar com clareza a seqüência de funções com seus múltiplos aspectos inter-relacionais. Entretanto, as informações obtidas com a síntese são consideradas subjetivas e exige alto grau de abstração. A tabela 30 lista os aspectos positivos e negativos levantados.

Tabela 30 – Aspectos positivos e negativos da Síntese funcional.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Síntese Funcional	Dinâmica e interativa, visualização global do processo, permite identificar os vários aspectos (disciplinas) do problema, Clara, mostra o fluxo do processo, permite identificar com maior clareza a seqüência de funções a que o produto se destina, permite visualizar todos os aspectos funcionais do produto.	Impossibilidade de comparação, informações subjetivas, Ferramenta incompleta, isto é, depende de outras ferramentas, algumas funções podem não ser percebidas ou muito detalhadas, alto grau de abstração exigido.

No quesito referente à aplicabilidade constatou-se que a ferramenta da síntese funcional também ocupa o segundo lugar com média geral de 8,27; e desvio de 0,55. Difere da primeira colocada, matriz morfológica em apenas 1,32 pontos percentuais. Na tabela 31, a seguir, encontram-se os valores resumidos.

Tabela 31 – Caracterização da síntese funcional quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Síntese Funcional	7,72	8,29	8,83	8,86	8,04	9,29	7,72	7,39	8,27	0,55	6,65

5.5 Matriz Morfológica

A matriz morfológica foi considerada uma ferramenta de fácil aprendizado por 86% (6/7) dos pesquisados, sendo que 71% detinham conhecimento prévio e 83% a considera aplicável em novos projetos. Alcançou a terceira colocação quanto à aplicação em diferentes domínios com média global de 7,02. A tabela 32, a seguir resume estes resultados.

Tabela 32 – Aplicação da Matriz morfológica em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz morfológica	9,52	6,67	7,14	4,76	7,02	1,31	18,64

Esta ferramenta estimula a criatividade no momento de geração de soluções facilitando a escolha das diferentes concepções do produto, entretanto, não descarta soluções inviáveis tecnologicamente. Os aspectos positivos e negativos sinalizados pelos pesquisados são apresentados na tabela 33.

Tabela 33 – Aspectos positivos e negativos da Matriz morfológica.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz morfológica	Detalhamento; exercita as possíveis soluções, fácil concepção, permite gerar muitas soluções para o problema; ferramenta muito boa para encontrar várias soluções; detalha bem as características do produto que serão importantes e facilita na escolha de uma concepção final; estimula criatividade e permite visualizar princípios de solução.	Pouco aprofundada, muitas soluções visivelmente descartáveis são consideradas, não achei nenhum ponto negativo, exige muita paciência e “imaginação” da equipe de projeto, classificação dos subsistemas.

Quanto aos parâmetros de aplicabilidade, segundo dados da pesquisa, verificou-se que esta ferramenta obteve maior índice, tanto nas médias ponderadas, com destaque para a flexibilidade (9,14), quanto na média global (8,31). Isto pode ser visto na tabela 34, a seguir.

Tabela 34 – Caracterização da Matriz morfológica quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz morfológica	6,86	8,57	8,83	9,14	7,79	9,05	8,60	7,63	8,31	0,66	7,97

5.6 Diagrama de blocos

Dentre as ferramentas de modelagem do sistema de controle, o diagrama de blocos é a que possui maior compreensão e facilidade de aprendizagem por parte dos pesquisados, em torno de 57% (4/7). Apenas 33% (1/3) a consideram de fundamental importância para aplicação em novos projetos. Sua aplicabilidade em diferentes domínios obteve média de 6,55; com desvio de 0,36; representando 5,45% em torno do ponto central. Sua média

ponderada é mais significativa no domínio de elétrica e eletrônica; com médias de 7,14 e 6,67; respectivamente. Na tabela 35 têm-se estes resultados.

Tabela 35 – Aplicação da ferramenta diagrama de blocos em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Diagrama de blocos	6,19	7,14	6,67	6,19	6,55	0,36	5,45

Como aspecto positivo destaca-se a facilidade de visualização do sistema, contudo, sua implementação é considerada complexa em virtude de estabelecer as funções que melhor representem as condições de funcionamento do produto. A tabela 36 mostra as características listadas na pesquisa.

Tabela 36 – Aspectos positivos e negativos da ferramenta diagrama de blocos.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Diagrama de blocos	Visão geral do problema, solução muito simples e básica, dá uma idéia geral de como deve ser o produto, simples visualização.	Não é interativa, imprecisa, dá as informações necessárias para concepção do produto, mas não mostra o produto como ele realmente deve ser; implementação é complexa.

Em relação às demais ferramentas de modelagem do sistema, também se destaca quanto à aplicabilidade em todos os itens observados: simplicidade, flexibilidade, confiabilidade e completude. Provavelmente por ser a ferramenta fora do escopo da engenharia mecânica e de maior conhecimento dos pesquisados. Na tabela 37 apresentam-se estes dados resumidos.

Tabela 37 – Caracterização da ferramenta diagrama de blocos quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Diagrama de blocos	4,00	4,57	6,55	5,72	4,98	5,86	5,59	5,39	5,33	0,61	11,45

5.7 Diagramas de Classes, Seqüência e Caso de Uso.

As ferramentas de modelagem baseadas na programação orientada a objetos são de pouco conhecimento dos pesquisados, apenas 14% (1/7) do global e representa 25% (1/4) da equipe de projetos. A menor dentre todas as ferramentas avaliadas. Estas foram consideradas prescindíveis por 66% (2/3) da amostragem. Por se tratar de ferramentas pouco conhecida dos projetistas percebe-se um baixo índice de aplicação em domínios diferentes, com médias entre 3,57 a 3,93; inclusive na própria área de software. Na tabela 38 encontram-se estes valores resumidos.

Tabela 38 – Aplicação dos diagramas de classe, seqüência e caso de uso em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Diagrama de classe	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de seqüência	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de caso de uso	4,29	3,81	2,86	4,76	3,93	0,60	15,15

Os aspectos positivos e negativos levantados das ferramentas de modelagem do sistema, no domínio da UML, não representam significativamente a realidade de uso das mesmas num universo mais amplo, entretanto, para a amostragem estudada, ressalta o pouco conhecimento do seu emprego. Isto pode ser observado na tabela 39.

Tabela 39 – Aspectos positivos e negativos dos diagramas de classe, seqüência e caso de uso.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Diagrama de classe	É interativa; desconhece; visualização estática do sistema com suas relações.	Desconhece; difícil aprendizado.
Diagrama de seqüência	Estruturação; interessante; desconhece; visualização temporal do sistema.	É restritiva; desconhece; difícil aprendizado.
Diagrama de caso de uso	Interessante; desconhece; visão global das inter-relações.	É limitada; desconhece; difícil aprendizado.

Quanto aos critérios de aplicabilidade das ferramentas de modelagem do sistema baseados na UML há muita incerteza em face do baixo índice de conhecimento de seu emprego. Este fato se reflete nas baixas médias obtidas no quesito de nº1, o qual é apresentado na tabela 40.

Tabela 40 – Caracterização dos diagramas de classe, freqüência e caso de uso quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Diagrama de classe	4,29	4,29	5,03	4,86	4,45	4,71	4,56	4,24	4,55	0,24	5,21
Diagrama de seqüência	4,29	4,00	4,66	4,86	4,20	5,05	4,56	4,24	4,48	0,30	6,66
Diagrama de caso de uso	2,57	3,14	3,52	3,71	3,10	3,52	3,70	3,96	3,40	0,35	10,24

5.8 Redes de Petri (RdP)

A ferramenta de modelagem dinâmica do sistema RdP apresentou um índice de conhecimento e aplicação em novos projetos maior do que as ferramentas de modelagem em UML, na ordem de 28,6% (2/7), entretanto 100% dos que detinham conhecimento de seu emprego a consideraram de difícil aprendizagem. Sua média referente à aplicação em diferentes domínios ficou em torno de 5,00; com desvio de 0,48. Isto representa um desvio percentual de

9,52%. Comparado ao valor máximo global (10) corresponde a 50%. A tabela 41 apresenta estes resultados.

Tabela 41 – Aplicação da Rede de Petri (RdP) em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Rede de Petri	5,24	5,71	4,29	4,76	5,00	0,48	9,52

Apesar de ser uma das ferramentas que permite a visualização dinâmica do sistema juntamente com o diagrama de seqüência, seu nível de dificuldade de aprendizagem é muito superior e demanda um longo processo de assimilação dos procedimentos metodológicos. A tabela 42 relata os aspectos negativos e positivos coletados.

Tabela 42 – Aspectos positivos e negativos da Rede de Petri.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Rede de Petri	É interativa e afloram as restrições, visualizar a dinâmica do processo.	Demanda tempo excessivo para montar a rede, se não for uma equipe treinada para desenvolver a Rede de Petri aplicada ao produto algumas etapas ou características do produto podem ser omitidas; difícil aprendizado.

A ferramenta de modelagem dinâmica do sistema RdP também não apresentou boa aplicabilidade em face de seu pouco conhecimento e dificuldade de aprendizagem, apesar de obter média superior à ferramenta diagrama de caso de uso. Este fato também pode estar relacionado à formação da equipe de projetos está mais voltada à engenharia mecânica. A tabela 43 mostra os índices obtidos pela ferramenta quanto aos critérios destacados.

Tabela 43 – Caracterização da Rede de Petri (RdP) quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Rede de Petri	4,00	4,00	4,66	4,29	4,16	4,43	3,85	4,29	4,21	0,21	4,89

De uma maneira geral verifica-se que o emprego de ferramentas diversas no desenvolvimento de produtos é inevitável devido à diversidade de áreas envolvidas num projeto de produtos mecatrônicos. Alguns aspectos relevantes quanto ao uso de algumas destas ferramentas no processo de desenvolvimento da bancada para ensaios de fadiga são reunidas na tabela 44.

Tabela 44 – As ferramentas de desenvolvimento no projeto da bancada para ensaios de fadiga.

OPINIÃO 1	A matriz QFD, DFMA, síntese funcional e a matriz morfológica são imprescindíveis para um bom projeto. As ferramentas foram muito importantes para direcionar e auxiliar a equipe.
OPINIÃO 2	O uso das ferramentas com todas as suas metodologias tornam o projeto mais longo, contudo, acredita-se que é mais seguro e eficaz, sem necessidade de reprojeto. As ferramentas de modelagem podem ser aplicadas a partir da etapa da síntese funcional.

-
- OPINIÃO 3 O processo de desenvolvimento da matriz QFD foi demorado e exigiu um pouco de paciência dos integrantes da equipe. Essa fase gera muitas idéias e muitas discussões entre o grupo, mas essas são fundamentais para se ter um melhor entendimento do problema abordado. Já o uso da matriz contradição causou algumas dúvidas sobre o grau de importância das características analisadas e isso pode induzir a erros. A síntese funcional para o caso da bancada foi mais fácil de ser desenvolvida porque as funções e tipos de ensaios a serem realizados pela bancada já estavam previamente definidos. Já a geração da matriz morfológica deu liberdade aos membros da equipe para exporem as idéias que tinham em mente, principalmente soluções para a parte mecânica da bancada.
-
- OPINIÃO 4 O uso da matriz QFD levantou um número excessivo de informações e dificultou o trabalho da equipe resultando uma matriz extensa que posteriormente foi resumida. O desenvolvimento da síntese funcional do sistema foi a fase na qual a natureza multidisciplinar (por tratar-se de um produto mecatrônico) do produto ficou mais evidente. Foi possível identificar os vários subsistemas necessários para realizar cada função. Na fase de busca de soluções (matriz morfológica), não identifiquei algo de novo com relação a produtos de outra natureza.
-

6. Considerações finais

Cada uma das ferramentas de projetos aqui são aplicadas para domínios de conhecimento específicos, isto de certo modo dificulta a integração entre as diferentes áreas de conhecimento. Entretanto, pôde-se perceber que há ferramentas como a matriz morfológica, a matriz QFD e a síntese funcional, que possibilitam reunir equipes multidisciplinares em torno de um projeto de maior nível de complexidade.

Ao considerar que estas ferramentas prestam grande auxílio no desenvolvimento de produtos, mesmo àquelas que requerem maior nível de dificuldade de aprendizado e aplicação, pode-se estabelecer um patamar mínimo de conhecimento, a fim de que o processo de uso gere informações relevantes que otimize os resultados do projeto.

A qualidade destes resultados poderá ser influenciada diretamente pelo emprego destas ferramentas em diferentes campos de atuação. Além disto, a magnitude desta influência não se mostra constante e depende proporcionalmente dos vários fatores observados, da adequação das ferramentas, do nível de conhecimento e qualidade das informações disponíveis.

A matriz QFD, por exemplo, apesar de mostrar-se com alto índice de aplicação nos diferentes domínios e de fácil aprendizado, ela é considerada “cansativa” no seu uso. Este fator pode desestimular seu emprego caso não se tenha clareza quanto aos resultados que ela permite levantar. Por outro lado, a ferramenta Rede de Petri (RdP) possui alto grau de dificuldade de aprendizagem, entretanto, tendo-se uma metodologia bem definida é possível construir de modo rápido a modelagem dinâmica do sistema.

Nesta linha observa-se que o emprego de múltiplas ferramentas num processo colaborativo e participativo permite que equipes de projetos possam atingir os objetivos de um projeto multidisciplinar. Contudo, ter-se-á de manter a coesão dos seus membros e produzir novos projetos para que ocorra maior produtividade. Caso contrário, se gasta mais tempo para sincronizar a equipe e maturar os resultados desejáveis.