

UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO METODOLÓGICO DE PROJETO DE PRODUTOS MODULARES

Régis Kovacs Scalice
Fernando A. Forcellini
Nelson Back

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Cx. Postal 476, CEP 88040-900, Trindade, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: scalice@emc.ufsc.br

Resumo

A modularização de produtos tem se limitado, por muito tempo, ao reprojeto de produtos já existentes de forma modular, sendo a estrutura funcional e os princípios de solução adotados já conhecidos e testados. Apesar de não serem encontradas limitações explícitas nas metodologias de projeto existentes quanto aos tipos de produtos que podem ser projetados, também não são claramente expostas sugestões quanto a melhor forma de se projetar, simultaneamente, novos produtos com diferentes funções a serem desempenhadas, já em uma arquitetura modular. Procurando instigar a adoção de um processo metodológico de projeto de produtos modulares nestes casos, é apresentado neste trabalho uma contribuição ao projeto conceitual de produtos modulares, focada na ampliação dos recursos da análise funcional, de forma a tornar esta ferramenta mais dedicada a modularização de produtos.

Palavras-chave: Análise funcional, Produtos modulares, Projeto de produtos.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da importância da adoção de uma metodologia para auxiliar na concepção de produtos se deve a necessidade de otimizar os produtos a serem desenvolvidos, sendo as propostas metodológicas mais aceitas caracterizadas pela concentração de esforços nas etapas iniciais de projeto, levando a uma redução do número de alterações no conceito adotado para o produto durante em fases tardias de seu desenvolvimento. Dentre as metodologias de projeto existentes, aquelas dedicadas ao projeto de produtos modulares vem se destacando cada vez mais por suas vantagens: separar os componentes de mesmo tempo de vida, isolar componentes danosos ao homem ou ao ambiente, facilitar a manutenção, auxiliar na montagem e tantas outras (Maribondo, 1998).

Uma característica comum às metodologias existentes para o projeto de produtos modulares, é o fato de terem sido utilizadas, predominantemente, no reprojeto de produtos já existentes para uma estrutura modular, com pouca variação entre as funções desempenhadas e de arquitetura funcional já conhecida. Apesar de não existirem limitações explícitas nestas metodologias quanto aos tipos produtos que podem ser desenvolvidos, também não são encontradas diretrizes que facilitem sua aplicação prática no projeto de uma linha de produtos

modulares que desempenhem funções distintas ou cujos conceitos não tenham sido testados pelo mercado.

Desta forma, objetivando incentivar o projeto de produtos modulares nestes casos, é proposto neste trabalho uma nova abordagem no uso da análise funcional. Para demonstrar a potencialidade desta nova abordagem, é tomado como exemplo o projeto de equipamentos para a maricultura (cultivo de mexilhões), cujas funções a serem desempenhadas pelos equipamentos possuem poucas semelhanças.

2. A ANÁLISE FUNCIONAL

Segundo Ulrich & Eppinger (1995), muitos dos desafios de projeto são muito complexos para serem solucionados como um único problema, podendo ser melhor resolvidos se divididos em subproblemas mais simples. Tal processo é chamado de Decomposição de Problemas. Existem diversas maneiras pela qual um problema pode ser decomposto (Ulrich & Eppinger, 1995):

- Decomposição pela sequência de ações do usuário, tais como movimentos, usos de ferramentas, etc., sendo esta alternativa mais adequada nos casos onde haja grande interação com o usuário;
- Decomposição pelas principais necessidades do cliente, útil nos casos onde a forma, não os princípios de solução, são o problema principal, tal qual no projeto de escovas de dente, e;
- Decomposição funcional.

O processo de decomposição e análise funcional (também conhecido por função síntese), conforme descrito em Ulrich & Eppinger (1995), Roozenburg & Eekels (1996) e outros trabalhos, é realizado em dois passos. Primeiramente, descreve-se a função global do produto na forma de uma caixa preta, na qual são representados os fluxos de energia, material e sinal (Figura 1). A função global, segundo Maribondo et al. (1998), é uma função que reúne todas as demais funções que um produto possa ter, sendo tal função expressa através de um verbo mais um substantivo (por exemplo, a função global de uma tela de computador é *exibir imagens*).

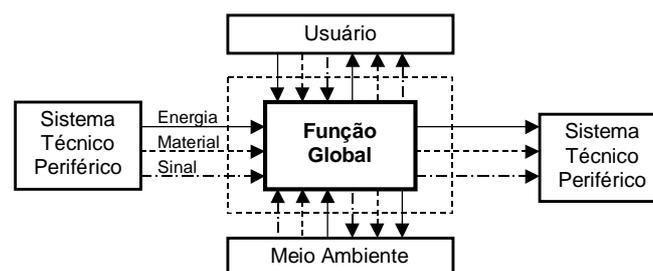


Figura 1 – Função global (Back & Forcellini, 1998).

Na sequência, a caixa preta é dividida em subfunções, objetivando-se criar uma descrição mais específica dos elementos do produto que irão realizar a função global desejada. Estas subfunções, ou funções parciais, podem ser divididas em outras subfunções até que se atinjam as funções elementares do produto. Um terceiro passo da análise funcional é proposto por Roozenburg & Eekels (1996), no qual se deve realizar uma revisão da estrutura obtida, podendo ser incluídas novas funções, ou ainda, serem avaliadas variações da estrutura funcional obtida, procurando o melhor arranjo. Na Figura 2 é ilustrado processo de desdobramento da função global em subfunções (funções parciais e funções elementares).

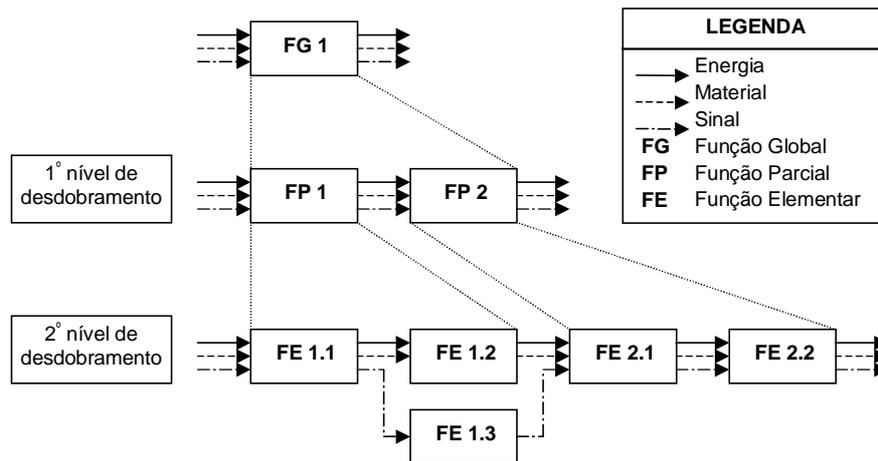


Figura 2 – Decomposição funcional.

O processo de análise funcional é largamente empregado em várias metodologias de projeto de produtos (em Pahl & Beitz, 1996, por exemplo), onde os recursos disponibilizados pela análise funcional são utilizados como base na identificação de princípios de solução para as funções elementares dos produtos. Estes princípios de solução poderão ser combinados e selecionados, resultando na geração de uma alternativa de projeto otimizada para cada produto.

Dentre as linhas de pesquisa do NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC) destacam-se aquelas dedicadas ao desenvolvimento, aperfeiçoamento e validação das metodologias de projeto de produtos, em especial aquelas destinadas ao projeto de produtos modulares. Um exemplo destes esforços pode ser encontrado em Maribondo et al. (2000) que, através do acompanhamento, exercício e registro da forma como a atividade de projeto de produtos modulares deveria ser realizada, propõe uma sistematização forma computacional da análise funcional, na qual é agregado recursos para a modularização de produtos, sem no entanto, abordar a problemática do projeto de produtos de diferentes funções globais.

3. O CASO DO PROJETO DE PRODUTOS MODULARES

O desenvolvimento de produtos tendo por objetivo a modularização tem se limitado a geração de variantes de projeto que possuam uma alta similaridade funcional e cuja estrutura não modular já tenha sido previamente testada na prática. Em princípio, as causas desta tendência não parece ser resultado de uma limitação das metodologias de projeto de produtos modulares existentes, e sim, uma consequência da ausência de informações explícitas de como proceder o projeto de novos produtos de forma modular.

Diversos exemplos desta tendência podem ser facilmente encontrados na literatura. Pahl & Beitz (1996) apresentaram um caso no qual uma família de motores elétricos de diferentes capacidades podiam ser obtidos através da combinação de módulos, no entanto, sem variar sua função global. Como outro exemplo cita-se o trabalho de Pizzatto (1996), no qual foram propostos armários modulares que, a partir da combinação de módulos de diferentes configurações (prateleiras, cabideiros, etc.), permitia a obtenção de variantes de uma mesma função global: *armazenar roupa*. Em ambos os casos, os produtos modulares desenvolvidos foram baseados em produtos já existentes no mercado.

A grande vantagem de se produzir produtos modulares de diferentes funções globais está na possibilidade de serem otimizados os processos de fabricação de uma empresa, resultado da redução do número total de componentes a produzidos devido ao compartilhamento destes

por diferentes produtos. As metodologias de enfoque modular desenvolvidas no últimos anos têm se assemelhado cada vez mais das metodologias de projeto tradicionais (Pahl & Beitz, 1996, por exemplo), aproximando-se não somente da estruturação destas metodologias na forma de levantamento das necessidades, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, mas também das ferramentas de projeto sugeridas, dentre as quais inclui-se a análise funcional.

Foi procurando instigar os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento de produtos a conceberem novos projetos já de forma modular, independentemente do grau de semelhança entre as funções globais a serem desempenhadas pelos diferentes produtos, que é proposto neste trabalho uma nova abordagem na utilização da análise funcional. Esta nova abordagem, aqui chamada de análise funcional modular, inicia-se com a análise funcional de cada um dos produtos segundo os passos já descritos anteriormente: determinação da função global do produto e de suas entradas e saídas de energias, materiais e sinais; desdobramento em funções parciais e elementares; e revisão da estrutura funcional obtida. A segunda fase da análise funcional modular consiste na execução dos seguintes passos:

Passo 1: *Localizar funções semelhantes.* Analisar as estruturas funcionais obtidas, procurando encontrar funções que possam vir a constituir módulos comuns a dois ou mais produtos. Quanto maior for o nível de desdobramento das funções globais estudadas, maiores serão as chances de serem encontradas funções comuns a dois produtos. A influência do nível de desdobramento na capacidade de se localizarem funções comuns, pode ser justificada pela existência de um número limitado de funções elementares. Koller (1985) cita 24 categorias de funções elementares pelas quais a maioria dos sistemas técnicos podem ser descritos, listados a seguir na forma de verbos e de seus inversos:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| ▫ Transmitir e isolar | ▫ Agrupar e dispersar |
| ▫ Guiar e não guiar | ▫ Transformar e retro-transformar |
| ▫ Ampliar e reduzir | ▫ Mudar de direção e mudar de direção |
| ▫ Retificar e oscilar | ▫ Ligar e interromper |
| ▫ Misturar e separar | ▫ Unir e dividir |
| ▫ Acumular e desaccumular | ▫ Emitir e absorver |

Em relação a estes verbos, deve-se tomar o devido cuidado com os sinônimos, similares ou que guardam certa analogia de ação. Também deverá ser dada uma atenção especial aos fluxos de energia, material e sinal presentes nas funções elementares analisadas os quais deverão ser compatíveis na adoção de uma função comum. O processo de localização de funções comuns é ilustrado na Figura 3.

Passo 2: *Avaliar a possibilidade das funções serem atendidas por um mesmo princípio de solução.* Poderão existir casos em que uma dada função comum poderá exigir princípios de solução diferentes. Estes casos, normalmente, serão caracterizados por disparidades nas condições de trabalho, tais como: frio e calor intensos, altas e baixas velocidades, altos e baixos carregamentos, etc. Funções comuns cuja viabilidade estiver relacionada à existência de um determinado princípio de solução em uma outra função elementar do produto, deverão ter esta dependência assinalada para posterior análise em etapas posteriores do processo de projeto.

Passo 3: *Revisão.* Finalizando o processo de análise funcional modular pode-se proceder a uma revisão das funções comuns obtidas procurando visando garantir a correção dos resultados obtidos.

Desta forma, pode-se esquematizar o processo de análise funcional modular tal qual ilustrado na Figura 4. Após a determinação das estruturas funcionais dos produtos, segundo os processos consensuais de projeto, deve-se proceder ao levantamento e seleção de princípios

de solução, bem como a escolha de uma alternativas de projeto. Uma maior atenção deverá ser dada às funções comuns, as quais deverão possuir princípios de solução adequados ao compartilhamento entre os produtos.

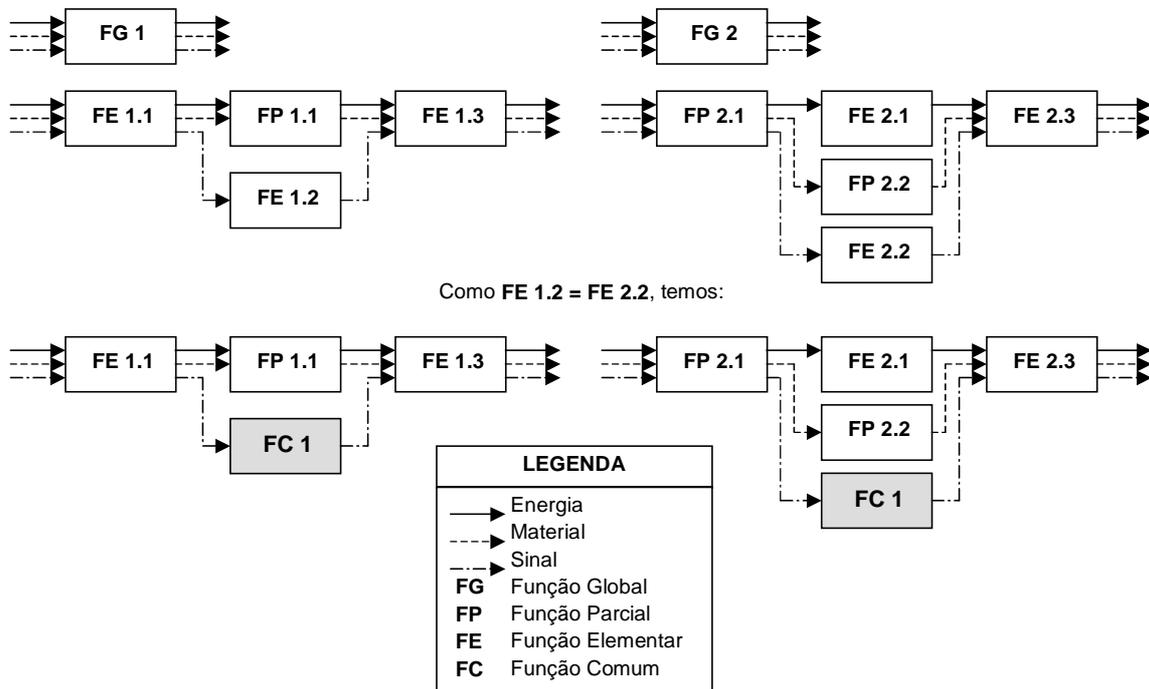


Figura 3 – Processo de localização de funções comuns.

Fase 1		Análise Funcional de Cada Tarefa
Passo 1	Determinação da função global dos Produtos	
Passo 2	Desdobramento das funções globais	
Passo 3	Revisão das estruturas obtidas	
Fase 2		Determinação de Funções Comuns
Passo 1	Localização de funções semelhantes	
Passo 2	Avaliação da viabilidade de serem adotadas funções comuns	
Passo 3	Revisão	

Figura 4 – Esquema do processo da análise funcional modular.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O uso de uma ferramenta mais adequada ao desenvolvimento de produtos modulares de diferentes funções globais pode ser exemplificada através do projeto para a mecanização das atividades ligadas ao cultivo de mexilhões (ou mariscos). Santa Catarina é, atualmente, o maior produtor nacional de mexilhões, tendo sido responsável pela produção de 8.000 toneladas no ano de 1998 (Ferreira, 1998), através de processos manuais ou com ferramentas adaptadas de outras atividades. Porém, este volume de produção ainda é muito pequeno se comparado com as 200.000 toneladas produzidas ao ano pela Espanha, cujo processo de cultivo se apresenta altamente mecanizado.

A maricultura inicia-se com a obtenção de sementes para o cultivo. Por sementes entenda-se jovens mexilhões, cujo tamanho varia entre 20 e 30 mm. O meio mais comum utilizado atualmente para a obtenção de sementes é a extração em bolsões naturais porém,

tendo como alternativa o uso de coletores de mexilhões, normalmente confeccionados com redes de pesca descartadas. Uma vez obtidas as sementes estas são encordoadas, ou seja, colocadas em um conjunto de redes tubulares, uma de algodão e outra de nylon, de aproximadamente 100 mm de diâmetro, a qual é fixada em estruturas flutuantes chamadas espinheis com o auxílio de uma corda concêntrica às redes.

Durante 6 meses, período mínimo para que o *Perna perna* (a espécie mexilhão cultivada em Santa Catarina) atinja o tamanho comercial, a corda de mexilhões permanece em estruturas flutuantes chamadas espinheis. Após a retirada das cordas do cultivo, os mexilhões são removidos das cordas e selecionados, ou seja, separados os adultos e as novas sementes. As sementes (mexilhões que se fixaram nas cordas durante o período de engorda e crescimento) são ensacados e devolvidos aos espinheis. Os mexilhões adultos são limpos e enviados às unidades de beneficiamento onde serão cozidos, desconchados, embalados, congelados e distribuídos.

Em visitas aos locais de cultivo, constatou-se que muitos destes processos já se apresentavam como gargalos, principalmente, devido ao emprego de trabalho manual em todas as tarefas do cultivo, justificando a grande importância dada pelos maricultores para a mecanização das atividades, apontada como sendo essencial para o crescimento da maricultura em 76% das entrevistas realizadas (Rosa, 1997).

Analisando-se o processo produtivo do cultivo de mexilhões, concluiu-se que apenas a mecanização das atividades que já se apresentavam como gargalos não era adequada, uma vez que as demais tarefas viriam a se tornar novos gargalos. Desta forma, conforme levantado em Scalice (2000), existe no cultivo de mexilhões um total de 13 tarefas, associadas à manipulação de mexilhões, cuja mecanização seria desejável, porém, sendo todas elas caracterizadas pela pouca ou nenhuma semelhança entre a forma de execução de seus trabalhos. Portanto, por se tratar do desenvolvimento de uma família de produtos, optou-se por otimizar o projeto dos equipamentos para a maricultura através da adoção de uma metodologia de projeto de produtos modulares.

É importante destacar que a mecanização de tal número de tarefas não é vantajoso apenas aos grandes e médios produtores, os quais terão disponibilizados todos os recursos necessários para a ampliação do cultivo. O pequeno produtor também poderá ser beneficiado pela redução do custo de fabricação devido ao aumento de escala na produção dos módulos que são compartilhados por diferentes produtos, o que deverá reduzir o preço final dos produtos ao consumidor.

Para exemplificar a aplicação da análise funcional modular, selecionaram-se três processos relacionados à maricultura catarinense:

- **Seleção de sementes.** A seleção de sementes para o encordoamento e posterior colocação nos espinheis para crescimento e engorda, se faz necessário devido à presença de jovens mexilhões de tamanho inferior ao adequado para a engorda, de possíveis organismos indesejáveis e de outros resíduos entre as sementes obtidas de coletores ou, até mesmo, de costões.
- **Desgranação dos mexilhões.** A desgranação consiste na separação de mexilhões, obtidos após o crescimento e engorda, que estão unidos entre si por filamentos de bisso. O bisso é uma substância protéica produzida pelo mexilhão que, em contato com a água do mar, se polimeriza e permite a fixação do animal em diversos substratos, tais como rochas, cordas ou até conchas de outros mexilhões.
- **Seleção de mexilhões.** Esta tarefa possui uma natureza muito semelhante a seleção de sementes, diferindo apenas no tamanho do animal, podendo facilmente serem adotados princípios de solução semelhantes, desde que sejam respeitadas as diferenças de dimensões entre as sementes e os mexilhões adultos. Na execução desta tarefa é interessante a seleção, em paralelo, de sementes para posterior engorda.

As análises funcionais para a mecanização de cada uma das tarefas citadas podem ser vistas na Figura 5.

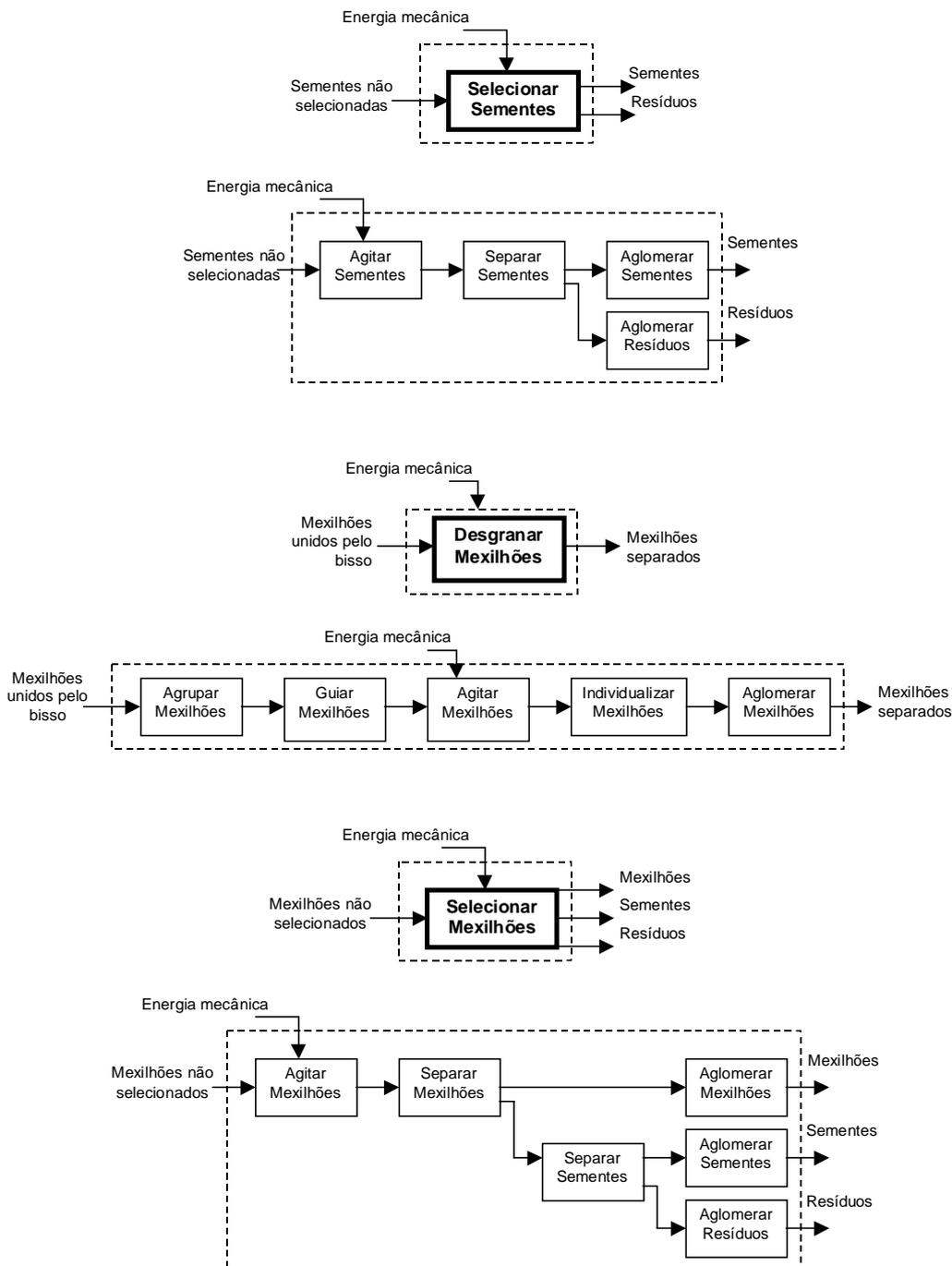


Figura 5 – Análise funcional das tarefas selecionadas do cultivo de mexilhões.

Dentre as tarefas de seleção de sementes e seleção de mexilhões são facilmente encontradas similaridades entre as funções desempenhadas, não havendo problemas aparentes no caso da adoção de um mesmo princípio de solução para as seguintes funções de ambas tarefas:

- **Função comum FC1:** agitar mexilhões/sementes.
- **Função comum FC2:** separar sementes.
- **Função comum FC3:** aglomerar mexilhões/sementes.
- **Função comum FC4:** aglomerar resíduos.

Já para o caso da desgranação de mexilhões, a determinação de funções comuns é uma tarefa mais complexa dada a grande diferença entre este processo e os demais. Inicialmente, são encontradas semelhanças entre as funções *agitar mexilhões/sementes* e *aglomerar mexilhões/sementes* que, em princípio, não apresentam impedimentos funcionais na adoção de uma função comum às tarefas de seleção de mexilhões e seleção de sementes. Outra possibilidade para a adoção de uma função comum pode ser encontrada entre as funções *individualizar mexilhões* e *separar mexilhões* porém, condicionalmente ligada a adoção de um princípio de solução dependente das dimensões da concha do animal. Desta forma tem-se:

- **Função comum FC5:** separar/individualizar mexilhões.

Na Figura 6 são apresentadas as funções comuns resultantes para as estruturas funcionais já apresentadas na Figura 5.

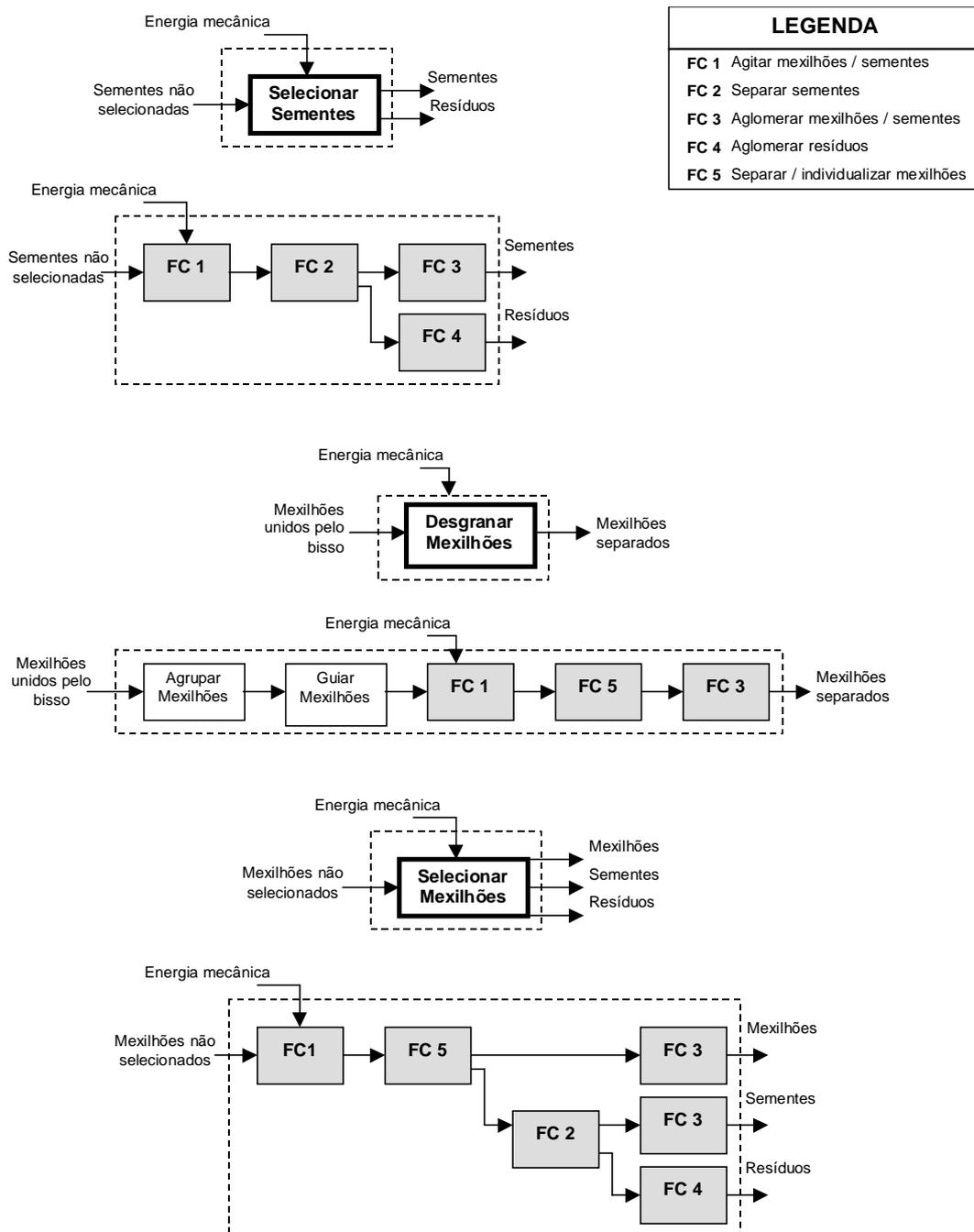


Figura 6 – Análise funcional modular aplicada a tarefas do cultivo de mexilhões.

5. CONCLUSÃO

Com a proposição da análise funcional modular procurou-se instigar a adoção de uma abordagem modular para a concepção de novos produtos, independente do número de produtos a serem projetados, do grau de semelhança e da existência prévia de produtos similares não modulares. A grande vantagem na adoção de um processo de projeto de produtos modulares está na redução da variedade de componentes, resultado da adoção de módulos comuns a dois ou mais produtos, possibilitando a aquisição ou fabricação de um volume maior de um mesmo componente. Desta forma, todos os produtos de uma fábrica podem ser modulares, sendo o grau de modularização limitado apenas pela similaridade entre os produtos.

Grande parte da potencialidade da análise funcional modular está na viabilização do projeto simultâneo de vários produtos que, agregada à otimização dos recursos empregados na fabricação dos produtos propiciada pela adoção de uma arquitetura modular, torna o projeto de produtos modulares uma alternativa ainda mais atraente aos profissionais de projeto. Exemplos de tal potencial foram vistos no caso estudado, no qual três produtos a serem projetado para a maricultura, poderiam ser produzidos com até cinco partes funcionais em comum, reduzindo de quinze para sete as funções a serem desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

- Back, N., Forcellini, F. A., 1998, *Projeto de Produtos*, Apostila para as disciplinas de Projeto Conceitual e Projeto para Manufatura, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Ferreira, J. F., 1998, G. T. Maricultura, II Workshp Regional Sul Sobre o Mar – Repensando o Mar para o Século XXI, Universidade federal de Santa Catarina.
- Koller, R., 1985, *Konstruktionslehre für den Maschinbau*, Springer Verlag.
- Maribondo, J. F., Back, N., Forcellini, F. A., 1998, *A Fundamentação e as Perspectivas de Projeto de Produtos Modulares*, V CEM – Congresso de Engenharia Mecânica Norte Nordeste, Fortaleza, Ceará.
- Maribondo, J.F., Back, N., Forcellini, F. A., 2000, *Ferramenta de Apoio à Fase de Projeto Conceitual: Síntese funcional de sistemas modulares*, submetido ao CONEM 2000 – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Natal, Rio Grande do Norte.
- Pahl, G. & Beitz, W., 1996 *Engineering design. A systematic Approach*, Springer-Verlag London Limited, Printed in Great Britain.
- Pizzatto, A., 1998 *Sistemática de Projeto para Produtos Modulares com Aplicação em Móveis*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Roozenburg, N.F.M. and Eekels, J., 1996, *Product Design: Fundamentals and Methods*, John Wiley & Sons Ltd, England.
- Rosa, R.C.C., 1997, *Impacto do Cultivo de mexilhões nas Comunidades Pesqueiras de Santa Catarina*, Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Scalice, R.K., 2000, *Desenvolvimento de uma Família de Produtos Modulares para o Cultivo e Industrialização de Mexilhões*, Projeto de Tese, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D., 1995, *Product Design and Development*, McGraw-Hill.