

Estudo e Escolha de Metodologia para o Projeto Conceitual

Research and Choice of a Methodology for the Conceptual Design

FRANCISCO JOSÉ DE ALMEIDA
Universidade Metodista de Piracicaba
falmeida@unimep.br

RESUMO – Este trabalho apresenta a fase de Projeto Conceitual, situada no processo de projeto, e a caracteriza, apontando para a necessidade de sistematizar os procedimentos envolvidos em tal fase inicial do projeto. Apresenta, na seqüência, um comparativo entre várias metodologias de projeto conceitual existentes, discorrendo sobre as características de cada uma delas, suas vantagens e desvantagens relativas. Realça, entre elas, as voltadas à informatização ou passíveis de serem informatizadas, visando à sistematização necessária e a automação da fase de Projeto Conceitual.

Palavras-chave: METODOLOGIA DE PROJETO CONCEITUAL – SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL – MÉTODO DE PROJETO SISTEMÁTICO.

ABSTRACT – This work presents and characterizes the Conceptual Design phase, within the design process, pointing to the necessity of to become systematic the involved procedures of this initial phase of the design process. It presents too the various conceptual design methodologies proposed, explaining the characteristics of each one, its related advantages and disadvantages. This work rises up those methodologies that can be automatized into a computational system, aiming to the necessary systemation and Conceptual Design phase automation.

Keywords: CONCEPTUAL DESIGN METHODOLOGY – DESIGN THEORY AND METHODOLOGY – SYSTEMATIC DESIGN METHOD.

INTRODUÇÃO

O Projeto Conceitual é a fase inicial do processo de projeto de um produto e, como será explicado a seguir, exige a aplicação da inteligência. Essa fase do projeto deve ser sistematizada, visando-se à aplicação do computador, para que seja possibilitada sua integração com as demais fases do projeto do produto, bem como a integração do processo global de projeto com as demais fases de produção de um produto, o planejamento de fabricação e a fabricação propriamente dita.

Esta integração de todas as fases envolvidas na produção é decididamente necessária, pois no mundo atual, altamente competitivo, o *time to market* deve ser reduzido o máximo possível, para que as empresas mantenham a sua competitividade e sua sobrevivência no mercado. Com a integração de todas as fases de produção de um produto – projeto, planejamento, fabricação –, pode-se aplicar os conceitos da engenharia simultânea mais aprofundadamente, obtendo-se a desejada redução do *time to market*. Paralelamente, tal integração das fases de produção do produto é implementada através de sistemas computacionais, devido ao grande volume de dados envolvidos, à sua organização necessária e à necessidade de meios e sistemas de controle rápidos e eficientes sobre o processo como um todo.

Com base nesse panorama, a fase de projeto conceitual, de modo a se poder integrá-la às fases posteriores, deve ser sistematizada – organizada e seqüenciada – para que se possa liberá-la da exigência da genialidade humana, possibilitando o uso de um sistema computacional integrado.

Neste trabalho serão apresentadas várias metodologias de projeto conceitual, caracterizando-as e relacionando-se suas vantagens e desvantagens. Entre as várias metodologias, serão realçadas as passíveis de serem implementadas em computador; portanto, sistematizadas, visando a um posterior trabalho de integração no processo de produção como um todo de um produto.

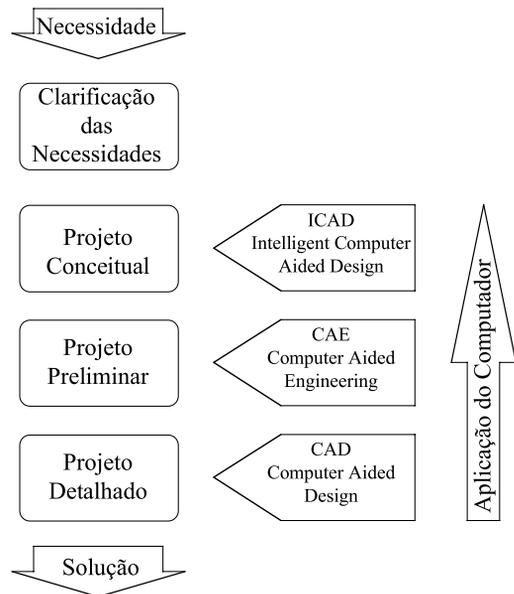
PROJETO CONCEITUAL

Área específica da engenharia mecânica, a engenharia do produto cuida do processo de projeto (*design process*), que pode ser definido, segundo Welch & Dixon (1992:11) como: "*a transformation*

between different states of information or knowledge (...) is therefore a series of transformations that solve a design problem by moving from a initial known state of knowledge to a final desired state of knowledge".

Segundo Pahl & Beitz (1996: 40), Hundal (1990: 243) e VDI 2221 (1987), citada por Hundal & Langholtz (1992: 2), o processo de projeto pode ser dividido nas seguintes quatro etapas: a) clarificação das necessidades (*clarification of the tasks*); b) projeto conceitual (*conceptual design*); c) projeto preliminar (*embodiment design*); e d) projeto detalhado (*detail design*) (fig. 1). A atuação de computadores progride dentro do processo de projeto no sentido inverso das fases deste (Klein, 1992: 149).

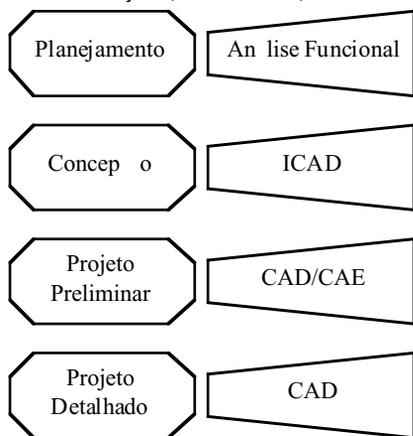
Fig. 1. Fases do Projeto (Pahl & Beitz, 1996).



Numa visão similar, segundo Fiod (1993), o processo de projeto engloba as fases de: a) planejamento; b) concepção; c) projeto preliminar; e d) projeto detalhado (fig. 2). A primeira fase, Planejamento, envolve as atividades de estudo da seqüência a ser obedecida no processo de projeto. Como o autor cita, sempre deve-se planejar um trabalho antes de iniciar sua execução, afim de se poder controlar o encaminhamento dentro do processo, corrigindo possíveis desvios de rota, e verificando-se o sucesso do mesmo ao seu final. A fase de Concepção é reservada para a especificação exata

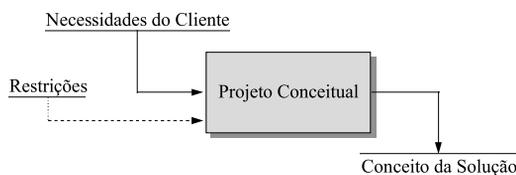
da necessidade e para a obtenção sistemática de possíveis soluções para a necessidade levantada. As demais fases envolvem a escolha e geração de uma solução técnica e o detalhamento desta até a geração de desenhos para a fabricação.

Fig. 2. Fases do Projeto (Fiod, 1993: 88).



Especificamente, a etapa do Projeto Conceitual (*conceptual design*) pode ser definida como: “*The conceptual process ‘begins’ with questions and ‘ends’ with detailed specifications usable by current systematic synthesis techniques*” (O’Shaughnessy & Sturges, 1992: 283, fig. 3).

Fig. 3. Fase de Projeto Conceitual.

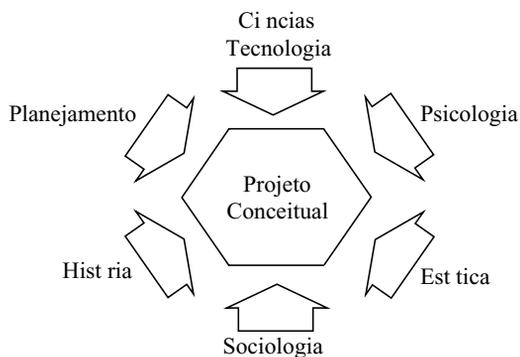


Outra definição bem parecida pode ser encontrada em Welch & Dixon (1992: 11): “*is the initial and most abstract stage of the design process starting with required functions (what the design is to do without saying how the design is to do it) and resulting in concepts (preliminary system configurations)*”.

Como apresentado nessas definições, esta fase exige grande capacidade inventiva e de adaptação do projetista, motivo pelo qual é a última etapa em que chega o computador. Esse processo é eminentemente criativo, além de exigir do projetista/engenheiro o conhecimento de várias disciplinas diferentes, tais

como as de Tecnologia, de Ciências, de Psicologia, de Estética, de Sociologia, de História e de Planejamento (Nadin & Novak, 1987: 149) (fig. 4).

Fig. 4. Inter-disciplinariedade do Projeto Conceitual (Nadin & Novak, 1987: 149).



Assim, o Projeto Conceitual pode ser visto como a conjunção de criatividade e desmetodização, envolvendo várias linhas de raciocínio e uma grande quantidade de informações inter-disciplinares. Dessa forma, é visível a grande complexidade de tal fase do processo de projeto e a sua inter-disciplinariedade.

No Projeto Conceitual, são manipuladas e tratadas informações dispersas, muitas oriundas do raciocínio do próprio projetista e, portanto, não formalizadas (Durkin & Durkin, 1998). Devido isso, há a necessidade de vasto uso de criatividade por parte do projetista, o que, em conclusão, significa que há grande influência dessa capacidade criadora na qualidade final do projeto. Além disso, pode-se constatar serem necessários dois tipos de conhecimento pelo projetista: o conhecimento das soluções técnicas (como fazer); e o conhecimento do processo de projeto (como proceder). Assim, durante a concepção, o projetista utiliza toda sua capacidade intelectual e diversificação de conhecimentos, lançando mão constantemente de sua experiência pessoal e criatividade.

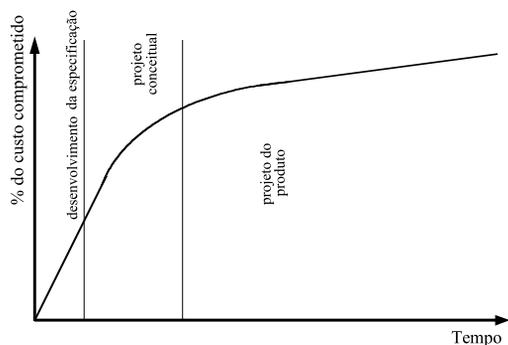
Nessa fase, lança-se mão da abstração – ou a colocação do problema em termos genéricos, representados por um ou mais verbos, representando a ação desejada, e um substantivo, representando o objeto da ação –, o que permite vislumbrar outros pontos de vista e outras soluções, além de se ter uma visão mais global do problema; isso permite ainda

vislumbrar outras soluções para o problema. Pahl & Beitz (1996) colocam tal tema em termos de “generalização”, afirmando ser preciso expressar o problema a resolver em forma de uma solução neutra.

Segundo a VDI 2221 (1987), são vantagens da sistematização: poder-se obter e examinar mais encadeamentos de soluções parciais; poder-se analisar mais variantes de soluções; e obter-se mais modelos e protótipos. Na prática, todos os passos envolvidos na fase de Projeto Conceitual são interligados e o processo é fortemente iterativo e interativo.

Para finalizar, deve-se realçar que grande é a importância da fase inicial de projeto no custo e no sucesso do produto final. Decisões tomadas nessa fase apresentam grande dificuldade, e proporcional alto custo, para serem alteradas nas fases posteriores do desenvolvimento de um produto (Ulmann, 1997: 8, fig. 5).

Fig. 5. Influência do Projeto no Custo de Manufatura (Ulmann, 1997: 8).



Ao sistematizar o processo de Projeto Conceitual, obtém-se uma maior eficiência e velocidade de desenvolvimento. Ao se incluir o computador nessa fase, acelera-se ainda mais o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos, o que é necessidade essencial no mercado competitivo de hoje em dia. Exemplos da introdução de sistemas computacionais no projeto de produtos, com suas vantagens constatadas, são os sistemas de CAD/CAM atuais. Deve-se frisar, porém, que esses sistemas de CAD atualmente tão disseminados agem e auxiliam principalmente nas fases tediosas e repetitivas do projeto, e não na fase de projeto conceitual.

METODOLOGIA DE PROJETO CONCEITUAL

Várias metodologias de Projeto Conceitual têm surgido ultimamente, principalmente devido à constatação de sua importância para a implementação de Sistemas Inteligentes de Projeto Auxiliado por Computador (*Intelligent Computer Aided Design System*). Ao lado destas, podem ser reconhecidas metodologias de projeto já clássicas, formadas sem considerações acerca de sua implementação em ambientes computacionais. Finalmente, há metodologias de Projeto Conceitual que são propostas de adaptações de algumas metodologias clássicas para sua transferência para sistemas computacionais.

Entre os trabalhos relacionados a este tema, alguns principais devem ser citados, com suas respectivas propostas de metodologias para Projeto Conceitual.

Suh (1990) propõe um Modelo Axiomático. Nesse modelo, a principal importância recai nos requisitos funcionais do projeto, ou seja, os requisitos de aplicabilidade do produto a ser projetado, baseados diretamente nas necessidades externadas pelo futuro consumidor. Este método apóia-se em dois princípios básicos: o Axioma da Independência – os requisitos devem ser independentes entre si – e o Axioma da Informação – deve-se minimizar o conteúdo das informações disponíveis em relação aos requisitos, reduzindo-as às essenciais. Suh (1990) ainda propõe oito regras a serem obedecidas pelo projetista na busca de um Projeto Conceitual de boa qualidade. Estas regras são, de maneira geral, baseadas em critérios de senso comum aliados a conhecimentos de engenharia.

Ainda segundo Suh (1990), o processo de projeto conta com três passos: a) definição do problema, através da definição de seus requisitos funcionais; b) processo criativo de concepção e idealização; e c) processo analítico de avaliação da solução. Num resumo geral, este método parte de informações abstratas (requisitos funcionais) e busca concretizá-las em um produto final, sistematizando as ações e os procedimentos. O método propõe a substituição da intuição e experimentação desordenada por axiomas ou leis, citadas acima.

Hoover, Rinderle e Finger (1991) realçam a necessidade da abstração nas primeiras etapas, afir-

mando que esse procedimento simplifica o problema, facilitando a busca das soluções.

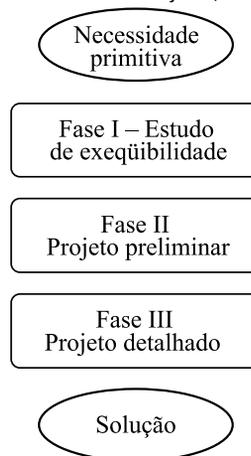
Por sua vez, Yoshikawa (1989), em trabalho extenso, relaciona e apresenta três escolas de Metodologia de Projeto: a) a escola semântica; b) a escola sintática; e c) a escola historicista. Segundo ele, na escola semântica só há fluxos de energia, de matéria e de sinal. A solução do problema é um sistema técnico – encadeamento logicamente estruturado de funções técnicas e sub-funções – representado pela transformação de energia, matéria ou sinal. Na escola semântica, a função global, que representa o problema inicial, é subdividida em sub-funções mais simples, iterativamente, até se identificarem fenômenos físicos a elas relacionados. Assim, permite-se que, através da catalogação de efeitos físicos conhecidos, soluções reais sejam encontradas. Alguns desses catálogos de efeitos físicos podem ser encontrados em Koller (1985) e Roth (1982), citados por Fiod (1993).

Ainda segundo Yoshikawa (1989), a escola sintática preocupa-se mais com os aspectos de procedimento do projetista na busca da solução ou soluções do que com o objeto de projeto em si. Autores que seguem essa escola seriam Asimow (1968), Woodson (1966) e Pahl & Beitz (1996), através da reunião que estes fazem do aspecto metodológico do projeto e do aspecto funcional do produto no modelo que propõem, associado à proposição de hierarquia entre funções e sub-funções encontrada em seus trabalhos, e da defesa do uso de um procedimento sistemático.

Finalmente, ainda segundo Yoshikawa (1989), a escola historicista dá importância maior para o conhecimento envolvido no projeto, exigindo que todo o conhecimento esteja disponível para o projetista no momento do desenvolvimento das soluções.

Asimow (1968) foi um dos primeiros autores a buscar sistematizar o processo de projeto, visando à obtenção de melhores projetos de forma mais sistêmica. Segundo sua visão, as fases primárias do projeto, aquelas relacionadas ao desenvolvimento da idéia do produto, englobam, partindo-se da Necessidade Primitiva: a) Estudo de Exequibilidade; b) Projeto Preliminar, e c) Projeto Detalhado (fig. 6).

Fig. 6. Fases Primárias de um Projeto (Asimow, 1968: 23).



Segundo Asimow (1968: 24), o Estudo de Exequibilidade objetiva a consecução de um conjunto de soluções úteis para os problemas do projeto. Ainda segundo o mesmo autor, no Estudo de Exequibilidade há três estágios: o primeiro consta da análise da situação na qual acha-se encaixado o problema; o segundo, da síntese de soluções possíveis; o terceiro, da avaliação das soluções e, caso haja algumas soluções aceitáveis, também da decisão sobre qual seja a melhor (Asimow, 1968: 64) (fig. 7).

Este mesmo autor baseia a busca de soluções em catálogos de princípios físicos (Asimow, 1968: 75-80).

Outro autor que deve ser citado, podendo ser igualmente considerado um dos precursores da escola sintática, é Woodson (1966). Ele define as etapas de Estudo de Possibilidade, Estudo Preliminar, Projeto Detalhado e Revisão para o projeto mecânico (fig. 8) e subdivide a primeira etapa em Análise da Necessidade, Exploração dos Sistemas Envolvidos, Síntese das Alternativas de Soluções, Determinação da Viabilidade Física, Análise Econômica, Análise da Disponibilidade Financeira (fig. 9).

Na linha de metodologias voltadas ou adaptadas, ou ainda passíveis de serem informatizadas, podemos citar Roth (1982), Koller (1985), estes citados por Fiod (1993), e VDI 2221 (1987), que

já “preparam” uma metodologia de projeto passível de informatização. Nesse rol, já citada, pode-se incluir a metodologia proposta por Pahl & Beitz (1996). Estes autores, inclusive, propõem as bases para se desenvolver um Sistema de Projeto Auxiliado por Computador, aplicado à fase de Projeto Conceitual.

Fig. 7. Estudo de Exequibilidade (Asimow, 1968: 32) (simplificado).

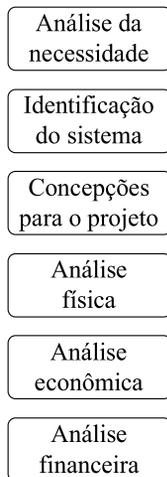
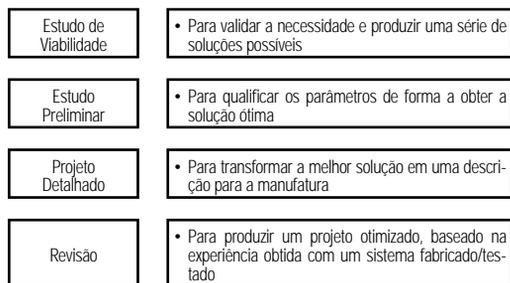
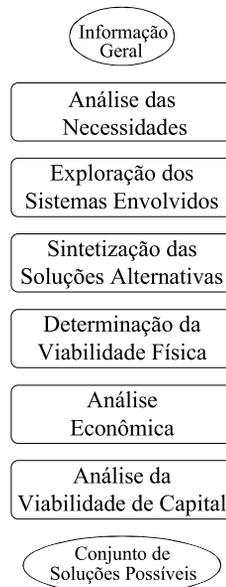


Fig. 8. Fases do Projeto (Woodson, 1966: 24-25).



A VDI 2221 (1987) sugere a divisão do Projeto Conceitual e da busca de soluções em duas fases. Na fase I, procede-se ao estudo do problema a ser solucionado. Segundo Pahl & Beitz (1996), deve-se gerar uma lista de requisitos do produto, podendo-se classificá-los em requisitos “obrigatórios” e “desejáveis”, estes últimos caracterizados com grande, média, ou pequena importância. Deve-se dividir os aspectos estudados em aspectos quantitativos e aspectos qualitativos, sempre buscando quantificar os requisitos.

Fig. 9. Estrutura do Projeto – Estudo de Viabilidade (Woodson, 1966: 26).

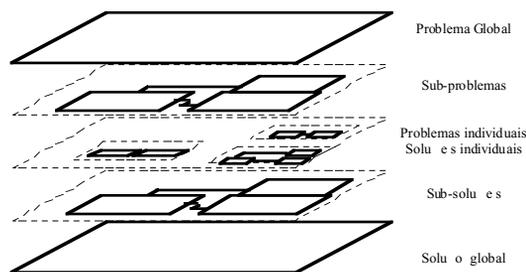


Na fase II, fase de concepção, deve-se definir a função que representa o problema, através de um verbo – ação – e um substantivo – objeto da ação – (“cortar” “grama”), anexando-se as condições marginais, tais como tamanho, peso, percurso desejado e outros. Pode-se definir a função global como uma “caixa preta”, na qual de um lado entram as grandezas “sinal” (*signal*) – s, “energia” (*energy*) – e, e “matéria” (*material*) – m – e, do outro, saem as mesmas grandezas, porém modificadas pela função global. Na seqüência dessa fase, divide-se a função global em funções parciais até se alcançarem os princípios físicos, levantados através de pesquisa bibliográfica, da análise de sistemas técnicos, da análise de sistemas naturais conhecidos, de analogias, de medições e de experiências com modelos. O seqüenciamento dos princípios físicos deve obedecer compatibilidade entre as características de saída de um princípio físico e as características de entrada do princípio físico subsequente.

Ainda segundo a VDI 2221 (1987), em seguida lança-se mão da Matriz Morfológica, possibilitando-se trocar as funções parciais entre soluções, combinando-as de formas diferentes e obtendo-se maior número de soluções, ou soluções variantes. A solução global é obtida associando-se

princípios físicos viáveis em sub-soluções realizáveis e estas, por sua vez, na solução global (fig. 10).

Fig. 10. Modelo de Desenvolvimento da VDI 2221 (Cross, 1996: 30).



O Método proposto por Roth (1982), relacionado em Fiod (1993), denominado Método da Estrutura de Funções Genéricas, relaciona quatro operações genéricas, a saber: “conduzir” (*channel*) – mudança de lugar, “armazenar” (*store*) – constância de uma certa quantidade em determinado tempo, “transformar” (*change*) – mudança de forma de apresentação – e “unir” (*connect*). Esta última, para grandezas iguais, pode ser “aditiva” – juntar quantidade – e “distributiva” – separar quantidade. Para grandezas diferentes, ela pode ser “aditiva” – aplicação de uma quantidade do tipo Y sobre uma quantidade do tipo X – e “distributiva” – separar de uma quantidade do tipo Y uma quantidade do tipo X.

O mesmo método relaciona três grandezas genéricas: “matéria”, “energia” e “sinal”, o que vem ao encontro das idéias de Pahl & Beitz (1996) e outros. A combinação de uma operação genérica com uma grandeza genérica resulta em uma Função Genérica. Nesse seu trabalho, o autor relaciona 220 verbos técnicos.

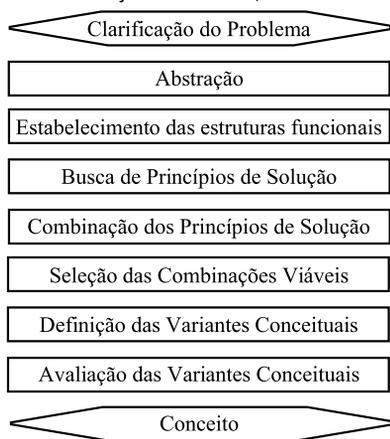
Por sua vez, o método proposto por Koller (1985), também relacionado em Fiod (1993) – ou Método de Projeto Orientado Físico-Algoritmicamente –, define doze operações básicas, sem relacioná-las a nenhuma grandeza. Esse relacionamento, segundo aquele autor, deve ser feito apenas durante o projeto de um produto específico. As operações são ordenadas duas a duas, cada qual com sua inversa, a saber: “emitir/absorver” (*absorb/emit*), “transmitir/isolar” (*channel/isolate*), “agrupar/dis-

persar” (*collect/scatter*), “guiar/não guiar” (*conduct/insulate*), “transformar/retro-transformar” (*change/change back*), “ampliar/reduzir” (*increase/decrease*), “mudar direção/mudar direção” (*change direction/change direction*), “retificar/oscilar” (*rectify/oscillate*), “ligar/interromper” (*couple/interrupt*), “misturar/separar” (*join/separate*), “juntar/dividir” (*assemble/divide*) e “acumular/desacumular” (*store/empty*).

Segundo Fiod (1993), Koller (1985) procura as soluções para as funções elementares escolhendo um efeito e um portador de efeito no catálogo previamente cadastrado – por exemplo, **efeito**: Lei de Hooke; **portador do efeito**: mola. A diversidade das soluções vem devido aos diferentes efeitos e portadores de efeitos que podem ser utilizados.

Uma metodologia que busca englobar partes das anteriores pode ser encontrada em Pahl & Beitz (1996). Não deixando de ser altamente interativo, esse método (de Projeto Sistemático) inicia-se logo após o estudo da tarefa, definindo os seguintes passos: a) clarificação do problema (*clarification of the task*), com elaboração da lista de requisitos; b) abstração para identificar os problemas essenciais (*abstract to identify the essential problems*), colocando o problema em termos de verbo-objeto; c) estabelecimento das estruturas funcionais (*establish function structures*), definindo a função global e dividindo-a em subfunções até se obter as funções elementares através da subdivisão contínua das funções parciais; d) busca dos princípios de solução (*search for solution principles to fulfil the sub-functions*), com a aplicação do método da variação dos efeitos e uso de catálogos; e) combinação dos princípios de solução para remontagem da função global (*combine solution principles to fulfil the overall function*), lançando mão da recombinação da Matriz Morfológica (VDI 2221, 1987: 39); f) seleção das combinações viáveis (*select suitable combinations*), com base na lista de requisitos; g) definição das variantes conceituais (*firm up into concept variants*); e h) avaliação técnica e econômica das variantes conceituais (*evaluate concept variants against technical and economic criteria*) (fig. 11).

Fig. 11. Fases do Projeto Conceitual (Pahl & Beitz, 1996: 58).



Pahl & Beitz (1996) relacionam cinco funções geralmente válidas para as transformações de três grandezas básicas, “sinal”, “energia” e “matéria”, as mesmas da VDI-2221 (1987). Essas funções gerais são: transformar (*change*), conectar (*connect*), conduzir (*channel*) e armazenar (*store*). Pahl e Beitz (1996) traçam eles mesmos um paralelo entre as suas funções

geralmente válidas, as operações genéricas de Roth (1982) e as operações básicas de Koller (1985), ambas relatadas em Fiod (1993), conforme a tabela 1.

Numa comparação com metodologias anteriores citadas, Pahl e Beitz (1996) englobam várias delas e identificam-se claramente com a de Suh (1990) e VDI-2221 (1987).

Essa Metodologia do Projeto Sistemático é a base para o trabalho desenvolvido por Fiod (1993). Nele o autor propõe uma metodologia sistemática para o Projeto Conceitual, lançando mão das doze operações básicas de Koller (1985), por ele citado (tab. 1). O autor apresenta um Sistema para Auxílio ao Projeto Conceitual Sistemático, que dirige o usuário pelas fases de projeto propostas, visando, principalmente, a tornar a qualidade da solução tanto quanto possível independente da inspiração, porém sem prescindir da criatividade e inventividade. Nesse sistema computacional, a metodologia de projeto proposta apóia-se firmemente numa base de conhecimentos composta de princípios físicos e componentes mecânicos.

Tab. 1. Comparação de Funções Geralmente Válidas (Pahl & Beitz, 1996: 27).

OPERAÇÕES BÁSICAS DE KOLLER (1985) / FIOD (1993)	OPERAÇÕES GENÉRICAS DE ROTH (1982)	FUNÇÕES GERALMENTE VÁLIDAS DE PAHL E BEITZ (1996: 68)
chance / change back transformar / retro-transformar		change (type)
change direction mudar direção	Change mudar/transformar	
increase / decrease ampliar / reduzir		vary (magnitude)
couple / interrupt ligar / interromper		
join / separate unir(misturar) / separar	Connect conectar	connect (number)
assemble / divide montar(juntar) / dividir		
channel / isolate transmitir / isolar		
collect / scatter agrupar / dispersar	channel conduzir	channel (place)
rectify / oscillate retificar / oscilar		
conduct / insulate conduzir(guiar)/separar(não-guiar)		
absorb / emit absorver / emitir	store armazenar	store (time)
store / empty acumular / esvaziar(desacumular)		

A seqüência de ações para o Projeto Conceitual proposta por Fiod (1993) engloba as fases de: a) estudo da tarefa; b) montagem da lista de requisitos; c) divisão em sub-tarefas, partindo da função principal e funções secundárias, até se obter a estrutura de funções elementares, passando pelas funções parciais; d) associação de efeitos de soluções, com uso de catálogos; e) desenvolvimento de funções parciais, considerando a análise de compatibilidade entre funções elementares; f) síntese de sistemas técnicos, analisando-se a compatibilidade entre funções parciais e avaliação dos sistemas obtidos, e g) concepção de sistema técnico, obtendo-se o resultado, ou solução do problema inicialmente proposto (fig. 12).

Os estágios do processo de projeto, segundo Cross (1996: 45-46), no seu denominado Modelo Simétrico Problema/Solução, fortemente baseado na VDI 2221 (1987) são apresentados na figura 13.

Fig. 12. Metodologia de Projeto Conceitual (Fiod, 1993: 93).

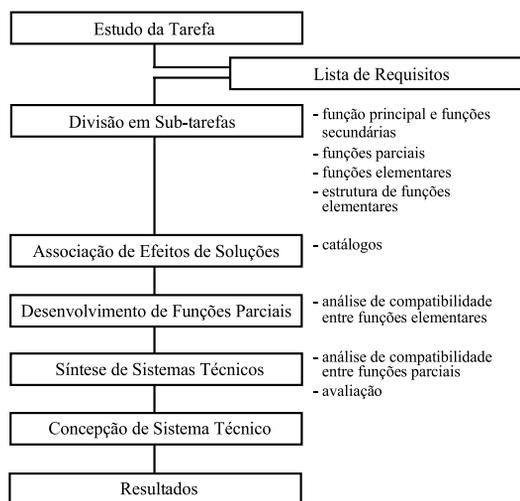


Fig. 13. Modelo Simétrico Problema/Solução (Cross, 1996: 46).



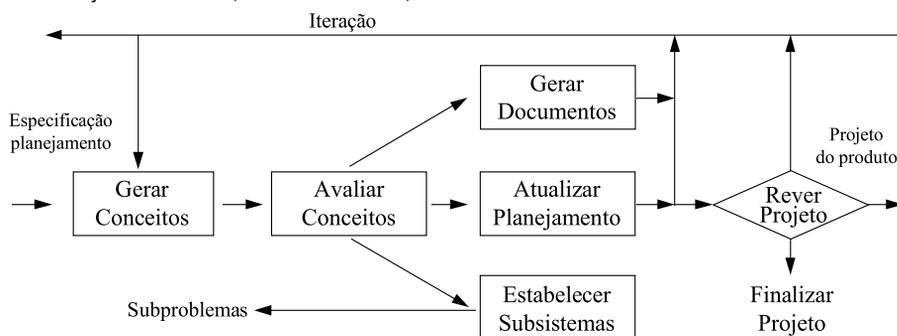
Cross (1996) lança mão do Método da Matriz Morfológica, similar ao de VDI 2221 (1987), com pequena variação: considerar cada linha da matriz como uma sub-função, atrelada diretamente a um componente. Cada coluna da Matriz Morfológica, para cada linha, contém os componentes que podem executar a sub-função respectiva. Esse enfoque, aliás, é muito próximo ao de Pahl e Beitz (1996), haja vista que tanto um quanto outro não chegam a atingir o nível de definição de princípios físicos. A que se realçar que este método traz no seu bojo grande motivação sistemática, citando o autor textualmente o uso de procedimentos sistemáticos (*systematic procedures*) (Cross, 1996: 31).

Como pode ser verificado, enquanto alguns autores dão maior ênfase às fases de avaliação, outros conferem maior enfoque às fases de geração de soluções. Todos, porém, apresentam vários pontos em comum, principalmente no que diz respeito à seqüência sistemática de procedimentos para a obtenção de soluções para problemas que não sejam atreladas somente à capacidade mental do projetista.

Um último autor a ser citado é Ulmann (1997), que propõe uma seqüência própria para a fase de Projeto Conceitual (fig. 14). Os passos propostos por Ulmann (1997), tendo-se anteriormente especificado a necessidade e efetuado o planejamento do processo de projeto, são: a) encontrar a função global que exprime a necessidade a ser solucionada, através de generalização do problema e sua abstração; b) decompor a função global em subfunções, com base em sistemas já conhecidos e/ou nas várias funções que a solução deve cumprir; c) desenvolver conceitos para cada função, apoiado em uma base de dados, e d) combinar conceitos. Na seqüência, Ulmann (1997) sugere a avaliação dos conceitos identificados.

O mesmo autor sugere uma lista de funções mecânicas típicas de projeto (tab. 2) e cita como fontes para idéias conceituais as patentes, os livros de referência, os especialistas e o *brainstorming*.

Fig. 14. Fase de Projeto Conceitual (Ulmann, 1997: 141).



Tab. 2. Funções Mecânicas Típicas de Projeto (Ulmann, 1997: 145).

Transformar (change)	Orientar (orient)
Aumentar/diminuir (Increase/decrease)	Localizar (locate)
Acoplar/interromper (couple/interrupt)	Coletar (collect)
Unir/Separar (join/separate)	Proteger (secure)
Montar/desmontar (assemble/disassemble)	Mover (move)
Conduzir ou guiar (channel or guide)	Converter (convert)
Retificar (rectify)	Transformar (transform)
Conduzir (conduct)	Traduzir (translate)
Absorver/eliminar (absorb/remove)	Rotacionar (rotate)
Armazenar (store)	Iniciar/cessar (start/stop)
Verificar (verify)	Levantar (lift)
Dirigir (drive)	Segurar (hold)
Posicionar (position)	Limpar (clear)
Libertar (release)	Suportar (support)
Dissipar (dissipate)	Suprir (supply)

CONCLUSÃO

Através da apresentação deste pequeno painel, pode-se concluir que a sistematização da etapa do Projeto Conceitual ainda está em seu início no plano internacional. Mesmo hoje em dia, apesar das desvantagens inerentes desse procedimento, a qualidade de um projeto, definida na fase de projeto conceitual, é função da genialidade do projetista, que utiliza seus conhecimentos e raciocínio lógico sem se preocupar muito em sistematizar tais pensamentos. Vários trabalhos, porém, como os aqui apresentados, propõem uma sistematização do processo de projeto conceitual, e uma posterior implementação em um sistema computacional, os chamados sistemas auxiliados por computador inteligente, um tipo

de sistema especialista. Na verdade, os chamados Sistemas Especialistas estão atualmente ainda na fase de desenvolvimento, sem ter atingido a etapa de aplicação comercial. Verificam-se apenas alguns poucos Sistemas Baseados em Conhecimento disponíveis comercialmente e, mesmo assim, com aplicação limitada. Grandes pesquisas ainda são necessárias para prover programas de computador que efetivamente auxiliem o projetista, o ser humano, em sua tarefa de conceber o projeto. A substituição do projetista nesta tarefa é de efetivação ainda mais difícil. Grandes esforços, porém, têm sido destinados a esta área de pesquisa, o que sugere a sua importância.

Além das dificuldades inerentes ao processo de transferir conhecimentos para o computador, há a necessidade de melhor conhecer e entender o processo de Projeto Conceitual desenvolvido dentro da mente do projetista. Esta área, intimamente ligada à anterior, tem sido objeto de atenção de muitos pesquisadores.

Na engenharia mecânica, uma das poucas áreas não totalmente dominadas é a da metodologia de projeto e da aplicação da computação nas fases iniciais do projeto. Apesar do grande direcionamento de esforços internacionais para estas áreas, o que reforça sua importância como campo de pesquisa atual, apresenta-se ainda em franco desenvolvimento, sem conhecimentos totalmente sedimentados.

Por tratar-se de área estratégica no domínio do conhecimento de projeto, e na aceleração do desenvolvimento deste conhecimento, deve ter sua importância devidamente sublinhada e não pode prescindir de investimentos em qualquer sociedade que se interesse em participar da comunidade internacional como proprietária de conhecimentos.

A situação brasileira, como de costume, apresenta-se atrasada alguns anos em relação aos centros mais desenvolvidos internacionalmente. Porém, por

tratar-se de área ainda em desenvolvimento, esta situação pode e deve ser alterada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, K. Vocabulary for conceptual design. *IFIP Transactions B: Computer Applications in Technology* B18, pp. 157-171, 1994.
- ASIMOW, M. *Introdução ao Projeto*. Trad. José Wanderley Coêlho Dias. São Paulo, Editora Mestre Jou, 1968.
- CHAKRABARTI, A. & BLIGH, T.P. Approach to functional synthesis of mechanical design concepts: theory, applications, and emerging research issues. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, v. 10, n.º 4, pp. 313-331, 1996.
- CROSS, N. *Engineering Design Methods*. Chichester, John Wiley & Sons, 1996.
- DIXON, J.R. *Design Engineering*. New York, McGraw-Hill, 1966.
- DIXON, J.R. & CORRADO, P. *Engineering Design & Design for Manufacturing: a structured approach*. Field Stone Publishers, 1999.
- DURKIN, J. & DURKIN, J. *Expert Systems – design and development*. New York, Prentice Hall, 1998.
- ERTAS, A. & JONES, J.C. *The Engineering Design Process*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- EVBUOMWAN, N.F.O. & SIVALOGANATHAN, S. Generation of conceptual designs within Design Function Deployment. *Methodologies, Techniques and Tools for Design Development American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division – PD*, New York, v. 64, n.º 5, pp. 61-66, 1994.
- FIOD Neto, M. *Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais*. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. Tese (Doutorado).
- FIOD Neto, M & BACK, N. Análise Crítica de Métodos de Projeto, Visando ao Desenvolvimento de um Sistema CAD para Concepção de Produtos. *Revista Brasileira de Ciências Mecânicas*, v. 17, n.º 4, pp. 387-393, 1995.
- _____. Assessment of product conception: a critical review. *Revista Brasileira de Ciências Mecânicas*, v. 17, n.º 1, pp. 109-115, 1995.
- HOOVER, S.P.; RINDERLE, J. R. & FINGER, S. Models and abstractions in design. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design – ICED’91*, Zurich, pp. 46-57, 1991.
- HUNDAL, M.S. A Systematic Method for Developing Function Structures, solutions and concept variants. *Mechanism and Machine Theory*, v. 25, n.º 3, pp. 243-256, 1990.
- _____. A methodical procedure for search of solutions from function structures. *Proceedings of The International Conference of Engineering Design – ICED’91*, Zurich, pp. 9-16, 1991.
- HUNDAL, M.S. & LANGHOLTZ, L.D. Computer-aided conceptual design: an application of X windows, with C. *Proceedings of the 3th International Conference on Design Theory and Methodology*, New York, ASME, pp. 1-9, 1992.
- KLEIN, S. An example of knowledge-based decision making when selecting standard components: shaft-hub connections. *Proceedings of the 3th International Conference on Design Theory and Methodology*, New York, ASME, pp. 149-156, 1992.
- MANTYLA, M.; FINGER, S. & TOMIYAMA, T. *Knowledge Intensive Cad – v. 1*. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- _____. *Knowledge Intensive Cad – v. 2*. Kluwer Academic Publishers, 1997.
- NADIN, M. & NOVAK, M. MIND: a design machine – conceptual framework. In: HAGEN, P.J.W ten; TOMIYAMA, T. *Intelligent CAD Systems I*. Berlin, Springer-Verlag, 1988.
- O’HAUGHNESSY, K. & STURGES Jr. R.H. A systematic approach to conceptual engineering design. *Proceedings of the 3th International Conference on Design Theory and Methodology*, New York, ASME, pp. 283-291, 1992.
- PAHL, G. & BEITZ, W. *Engineering Design – a systematic approach*. Translated by Ken Wallace and Lucienne Blessing. Berlin, Springer Verlag, 1996.
- PAPALAMBROS, P.Y. & WILDE, D.J. *Principles of Optimal Design: modeling and computation*. New York, Cambridge University Press, 2000.
- PITTS, G. *Techniques in Engineering Design*. London, McGrawHill Book Company, 1973.
- PUGH, S. *Total Design: integrated methods for successful product engineering*. Wokingham, Addison Wesley, 1995.
- PUGH, S.; CLAUSING, D. & ANDRADE, R. *Creating Innovative Products Using Total Design: the living legacy of Stuart Pugh*. Addison-Wesley Pub Co., 1996.

- SILVA, J.B.A; BACK, N. & LEAL, L.C.M. SIPE – um sistema CAE para o projeto de eixo-árvore de máquinas ferramentas. *Anais do X COBEM*, Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas/Projeto de Engenharia Mecânica-COPPE, pp. 351-354, 1989.
- SUH, N.P. *The Principles of Design*. New York, Oxford University Press, 1990.
- TAKEDA, H. & TOMIYAMA, T.; YOSHIKAWA, H. A logical and computable framework for reasoning in design. *Proceedings of the 3th International Conference on Design Theory and Methodology*, New York, ASME, pp. 167-174, 1992.
- TOMIYAMA, T. & YOSHIKAWA, H. Extended General Design Theory. In: YOSHIKAWA, H. & WARMAN, E.A. *Design Theory for CAD*. Amsterdam, North-Holland, 1987.
- ULMANN, D.G. *The Mechanical Design Process*. New York, McGraw Hill College Div, 1997.
- VDI-GKE (Verein Deutscher Ingenieure – professional engineers' body). *VDI Guideline 2221*, systematic approach to the design of technical systems and products. Dusseldorf, VDI Verlag, 1987.
- WELCH, R.V. & DIXON, J.R. Representing function, behavior and structure during conceptual design. *Proceedings of the 3th International Conference on Design Theory and Methodology*, New York, USA, ASME, pp. 11-18, 1992.
- WOODSON, T.T. *Introduction to Engineering Design*. New York, Mc-Graw Hill Book Company, 1966.
- YOSHIKAWA, H. Design Philosophy: the state of the art. *CIRP Annals*, v. 38, n.º 2, pp. 579-586, 1989.
- YOSHIKAWA, H. General Design Theory as a Formal Theory of Design. In: YOSHIKAWA, H. e GOSSARD D. *Intelligent CAD, I*. Amsterdam, North-Holland, 1990.
- YOSHIKAWA, H.; ARBAB, F. & TOMIYAMA, T. *Intelligent CAD, III*. Amsterdam, North-Holland, 1991.