

---

# Engenharia simultânea: uma comparação entre as estratégias set-based e point-based

---

Alceu Salles Camargo Júnior  
Abraham Sin Oih Yu

## RESUMO

Neste trabalho são comparados, por meio de modelagens matemáticas, os resultados econômicos do emprego de duas estratégias de gestão do processo de desenvolvimento de produtos: engenharia simultânea ponto a ponto (*point-based*), na qual se conduz o desenvolvimento por meio de melhorias a partir de um único conceito inicial, e a engenharia simultânea baseada em conjunto de alternativas (*set-based*), em que o desenvolvimento se dá em paralelo a partir de um conjunto de alternativas inicialmente viáveis. Modelos matemáticos foram desenvolvidos para comparar o desempenho econômico de projetos de novos produtos sob diferentes condições de incertezas técnicas e de ambiente de negócios. Análises de risco e do *time-to-market* também foram desenvolvidas. O principal resultado foi a obtenção do mapeamento de regiões estratégicas, definidas por condições do projeto e do ambiente de negócios. Tal mapeamento apresenta implicações gerenciais no sentido de que possibilita a determinação da melhor estratégia a ser empregada em cada inovação, conhecidas as condições do projeto e do ambiente de negócios. Os resultados apontam o *set-based* como a estratégia mais econômica para gerenciar projetos sob condições mais desfavoráveis, além de grandes superioridade e robustez com relação aos níveis de risco e de *time-to-market*.

**Palavras-chave:** gestão do desenvolvimento de novos produtos, engenharia simultânea, estratégia *set-based*, estratégia *point-based*, retorno e risco em projetos de novos produtos.

## 1. INTRODUÇÃO

Desenvolver competências para gerir o processo de desenvolvimento de novos produtos e processos tornou-se indispensável para que as organizações modernas mantenham a competitividade em ambientes de negócios dinâmicos e globalizados (ULRICH e EPPINGER, 2000). Para Clark e Wheelwright

Recebido em 19/abril/2005  
Aprovado em 02/fevereiro/2007

---

Alceu Salles Camargo Júnior, Engenheiro e Mestre pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Administração pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA) da USP, é Professor no Departamento de Administração da FEA Ribeirão Preto (FEARP) da USP (CEP 14040-900 — Ribeirão Preto/SP, Brasil).

E-mail: [alceu@usp.br](mailto:alceu@usp.br)

Endereço:

Universidade de São Paulo  
FEARP — Departamento de Administração  
Avenida dos Bandeirantes, 3900  
14040-900 — Ribeirão Preto — SP

Abraham Sin Oih Yu é Professor Doutor do Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (CEP 05508-010 — São Paulo/SP, Brasil) e Pesquisador da Divisão de Economia e Engenharia de Sistemas (DEES) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

E-mail: [abraoyu@ipt.br](mailto:abraoyu@ipt.br)

(1993), já no início dos anos 1990, há uma crescente preocupação, por parte das empresas, em melhor se organizarem em torno da gestão de desenvolvimento de novos produtos e processos devido a grandes pressões no ambiente de negócios internacionais. Para os autores, a gestão do desenvolvimento de produtos não é mais uma preocupação só de empresas de alta tecnologia, mas fundamentalmente uma competência necessária para toda e qualquer empresa.

O *time-to-market*, tempo gasto em todo o processo — desde o mapeamento dos conceitos e alternativas tecnológicas e mercadológicas, com o desenvolvimento e posterior lançamento do produto no mercado —, tem sofrido uma drástica redução nas últimas décadas em mercados competitivos. Uma das estratégias empregadas para conseguir reduzir, não só o *time-to-market*, mas também os custos de desenvolvimento e de produção é o emprego da engenharia simultânea. Muitas pesquisas relacionam a diminuição do *time-to-market* de projetos a um maior grau de sobreposição dos desenvolvimentos do produto e da respectiva manufatura, que poderia ser conseguida por equipes multidisciplinares, com estruturas em matriz e atuação de um líder com poder de decisão (CLARK e FUJIMOTO, 1991; CLARK e WHEELWRIGHT, 1993; COOPER e KLEINSCHIMDT, 1994; HULL, COLLINS e LIKER, 1996; GRIFFIN, 1997).

A engenharia simultânea caracteriza-se por um ambiente de projeto mais integrado e compreensivo, com grande acesso e troca de informações entre os membros da equipe multidisciplinar. É bastante comum também o emprego de técnicas e ferramentas de prospecção da funcionalidade e de melhoria da qualidade do produto e do processo, como o Desdobramento da Função Qualidade (QFD — *Quality Function Deployment*), Delimitação de Experimentos (DOE — *Design of Experiments*) e os experimentos de Taguchi, Análise de Confiabilidade, Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA — *Failure Mode and Effects Analysis*), o Projeto para a Manufatura (DFM — *Design for Manufacturability*), dentre outras (ETTLIE e STOLL, 1990; CLARK e FUJIMOTO, 1991; CLARK e WHEELWRIGHT, 1993; KRUGLIANSKAS, 1995; TIDD, BESSANT e PAVITT, 1997). O objetivo é encontrar mais cedo eventuais problemas ou conflitos, para também mais cedo solucioná-los, economizando tempo e recursos com futuras análises e tarefas que teriam de ser refeitas. Essa estratégia de gestão busca motivar, desde o início, os projetistas a considerarem, de forma integrada, todos os elementos do ciclo de vida do produto desde a concepção até as vendas, passando por qualidade, custo e requisitos dos clientes (TAKEUCHI e NONAKA, 1986; CLARK e WHEELWRIGHT, 1993; SYAN e MENON, 1994).

A abordagem tradicional de desenvolvimento é a de total separação entre a fase do conceito e a da implementação, que só começa quando as especificações estiverem todas congeladas. Assim, um bom projeto seria aquele que apresentasse alterações mínimas após a aprovação do conceito. Tal aborda-

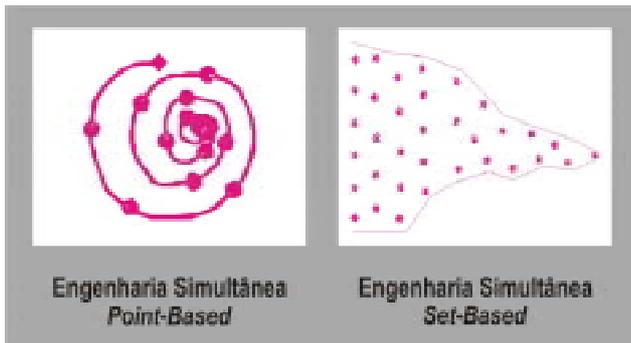
gem encontra aplicação em ambiente em que a tecnologia, os atributos e desempenhos do produto e o nível de competição são bastante previsíveis. Porém, quando o ambiente é turbulento e dinâmico, faz-se necessário conseguir mover o ponto de congelamento das especificações para o mais próximo possível do lançamento do produto, assim a empresa teria de desenvolver habilidades de conduzir a implementação do projeto do produto, sem antes ter fechado por completo a fase de conceito (IANSITI, 1995).

Quando organizações e estudiosos estavam ainda compreendendo e consolidando conhecimentos sobre a aplicação da engenharia simultânea, Ward *et al.* (1995) descobriram estar diante de um paradoxo examinando a forma como a Toyota administrava o processo de desenvolvimento de seus produtos. Paradoxo porque, apesar de a Toyota empregar engenharia simultânea, ela não o fazia segundo os preceitos difundidos até então. A empresa não co-localizava o time e a comunicação era pouco freqüente entre os membros da equipe. Além disso, atrasava as principais decisões e desenvolvia muitas alternativas e protótipos em paralelo, contrariando as principais experiências e conhecimentos sobre o emprego eficiente da engenharia simultânea.

O intrigante é que a Toyota vinha desenvolvendo, mais rápido, carros melhores e mais baratos. Ward *et al.* (1995) descobriram estar diante de possível aplicação de um novo paradigma na gestão do processo de desenvolvimentos de novos produtos: o *set-based*. A engenharia simultânea baseada em conjuntos de alternativas (*set-based concurrent engineering*) foi assim denominada, por Ward e Seering (1989, *apud* WARD *et al.*, 1995), pelo fato de o processo contemplar o desenvolvimento em paralelo de várias alternativas de conceito do produto e também da manufatura, como uma forma de operacionalizar o congelamento tardio das especificações. Tal abordagem contrasta com a técnica tradicional de engenharia simultânea, denominada por Ward *et al.* (1995) de engenharia simultânea ponto a ponto (*point-based concurrent engineering*), na qual o desenvolvimento do produto parte de um único conceito (suposta melhor alternativa de projeto) e, por meio de um processo iterativo, o vai melhorando até chegar a uma solução viável, em que se tenham conseguido as características desejadas pelo mercado, como funcionalidade, qualidade, ergonomia, preço, dentre outras.

A figura 1 apresenta os esboços das abordagens da engenharia simultânea: *point-based*, em que se pode observar o processo de convergência ponto a ponto; *set-based*, em que são conduzidas várias alternativas para serem desenvolvidas. A convergência vai se fazendo pela eliminação de idéias que se mostram não-viáveis ao longo do projeto.

Sobek II (1997, p.238), em seu trabalho de natureza qualitativa, infere ser o *set-based* a estratégia mais adequada para gerir projetos de desenvolvimento que enfrentam condições mais desfavoráveis, com altos níveis de incerteza e complexidade:



**Figura 1: Esboços das Estratégias de Engenharia Simultânea Ponto a Ponto (Point-Based) e de Engenharia Simultânea Baseada em Conjunto de Alternativas (Set-Based)**

Fonte: Ward *et al.* (1995).

- “The discussion of advantages and disadvantages raises an important question: when should a development team use a point-based process versus a set-based one? A point-based process also seems well-suited for stable and well-understood environments and situations where the team understands the design problem well. In these cases, the team can easily evaluate the alternatives and pick the best solution. Additional knowledge gained through set-based practices may be marginal and simply not worth the time or cost. Also, stable environments mean that knowledge does not go obsolete quickly, and that design changes resulting from changes in environments are less likely”.

Uma outra pesquisa, conduzida por Eisenhardt e Tabrizi (1995) com 36 companhias globais no ramo de computadores com o objetivo de compreender os padrões de aceleração no processo de desenvolvimento de produtos, também apontou a engenharia simultânea como a estratégia de melhores resultados para projetos em ambientes de negócios mais estáveis. Os autores descobriram que a aceleração do processo com a sobreposição de tarefas, ou engenharia simultânea, era utilizada nas empresas de computadores de grande porte e minicomputadores para as quais o ambiente de negócios se apresentava mais estável e maduro, enquanto uma estratégia, denominada pelos autores de **experimental**, requerendo maior controle com mais pontos de revisão e de tomada de decisões era encontrada na gerência de projetos sob ambientes mais dinâmicos, como impressoras e computadores pessoais. A engenharia simultânea a que os autores se referem é a tradicional, isto é, a abordagem *point-based*.

Nesse contexto, neste trabalho tem-se como objetivo comparar as duas estratégias (*set-based* e *point-based*), quanto a desempenho econômico, risco e *time-to-market*. As estratégias são comparadas na pesquisa segundo uma metodologia de modelagem matemática com a parametrização de algumas das

principais características de projetos de desenvolvimento de produtos (nível de incerteza técnica e custos de desenvolvimento) e também para diferentes condições de ambiente de negócios (faturamento potencial de mercado e extensão da janela de oportunidades para as vendas do produto). Impactos dos ganhos provenientes do aprendizado da equipe de projeto também são considerados e analisados.

Um resultado importante da pesquisa é a obtenção do mapeamento de regiões, definidas por condições de projeto e de ambiente de negócios, para as quais cada uma das duas estratégias se apresenta como a de melhor resultado econômico. Tal mapeamento possibilita implicações gerenciais na medida em que determina a estratégia de melhor desempenho, conhecidas as características do projeto e do ambiente de negócios.

Os resultados mostram que a estratégia de conjunto de alternativas (*set-based*) é a de melhor resultado econômico para gerir projetos de baixos custos de desenvolvimento quaisquer que sejam os níveis dos outros parâmetros envolvidos na pesquisa. Um outro resultado importante aponta o *set-based* como a estratégia de melhor resultado econômico para projetos sob as condições mais desfavoráveis, mais caras e com alto grau de incerteza técnica e/ou em ambientes mais dinâmicos (diante de janelas de oportunidades de pequenas extensões para as vendas do produto). Além disso, os resultados mostram que o *time-to-market* e os níveis de risco dos projetos são menores se gerenciados pela estratégia *set-based*.

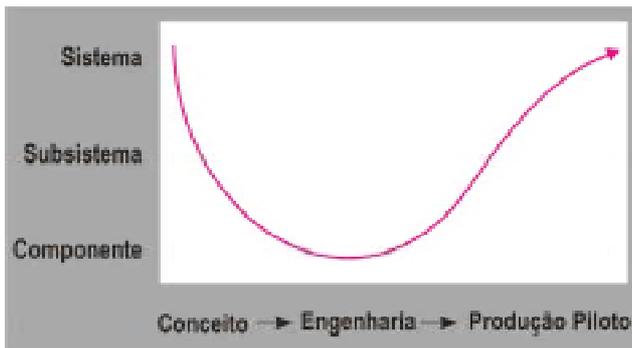
O texto está estruturado em quatro seções, incluindo a introdução. Na segunda seção apresenta-se o referencial teórico. Na terceira, os modelos matemáticos e respectivas proposições, além de analisarem-se os resultados, enquanto na quarta seção constam as conclusões, contribuições à literatura e sugestões para pesquisas futuras.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O projeto de desenvolvimento de um novo produto geralmente envolve várias etapas sucessivas, às vezes superpostas, para atingir seus objetivos. Essas atividades podem ser classificadas em diferentes formas, dependendo da abordagem. A classificação apresentada por Ulrich e Eppinger (2000), numa perspectiva de gestão das atividades técnicas do projeto de desenvolvimento, incorpora as seguintes etapas:

- **desenvolvimento de conceitos** — identificação das necessidades do mercado-alvo;
- **projeto do sistema** — definição da arquitetura do produto e seus subsistemas e componentes;
- **projeto detalhado** — especificações detalhadas de cada componente e subsistema e processos produtivos;
- **testes e melhoramentos** — protótipos são construídos e testados, e os resultados desses testes são usados para melhorar o projeto;
- **preparação para o lançamento** — produção-piloto para identificar e corrigir problemas e treinar os operadores.

Clark e Wheelwright (1993) apresentam uma seqüência de tarefas, representada na figura 2 por uma curva: o desenvolvimento geralmente começa com a definição do conceito no nível do sistema, passa por engenharia no nível do sistema (arquitetura do produto) e, posteriormente, a engenharia detalhada de subsistemas e componentes. Uma vez projetados os componentes e subsistemas, passa-se à integração de componentes em subsistema, de subsistemas no sistema e, por fim, à produção-piloto.



**Figura 2: Processo de Desenvolvimento de Produto**

Fonte: Clark e Wheelwright (1993, p.660).

Clark e Wheelwright (1993) salientam que se realizam testes para resolver problemas ou melhorar soluções em cada ponto da curva da figura 2, que representa, pois, o “caminho” do desenvolvimento. Em geral, em cada tarefa de desenvolvimento o projetista passa por várias iterações ou ciclos, cada vez aprendendo mais um pouco sobre o problema e as soluções alternativas, que compreendem *design*, *build* e *test*. Na fase de *design*, o projetista define as metas e gera as alternativas de projeto. A fase de *build* tem como objetivo transformar as alternativas de projeto em formas/objetos, isto é, em protótipos, que permitam a realização de teste, quer implementados num *software* de *Computer Aided Design* (CAD), quer com materiais mais fáceis de manusear, como plástico ou metais menos duros. Na fase de *test*, dependendo dos objetivos do ciclo de *design-build-test*, o teste pode centrar-se num atributo particular (por exemplo, medir o nível de ruído gerado pelo mecanismo), utilizando um protótipo focado, ou pode envolver uma avaliação do sistema nas condições reais, utilizando um protótipo completo (ULRICH e EPPINGER, 2000).

Apesar de as pesquisas que utilizam modelos matemáticos para analisar o desempenho e eficiência da engenharia simultânea serem relativamente escassas, aquelas sobre as estratégias de testes em desenvolvimento de produtos datam do final da década de 1950. Essas pesquisas preocupam-se com problemas cujas estruturas matemáticas são similares aos focados em nosso trabalho: dado um conjunto de alternativas de projeto, como

selecionar a melhor utilizando-se de testes ou experimentos de modo a minimizar o custo total de desenvolvimento ou maximizar o lucro auferido com o lançamento.

Nelson (1961) elaborou os primeiros modelos para responder perguntas como: Quantos projetos concorrentes devem ser incluídos num esforço de desenvolvimento paralelo? O objetivo do desenvolvimento era atingir um desempenho mínimo com menor custo. Weitzman (1979) apresenta uma análise matemática de uma classe bastante comum de problemas de busca (*search*): selecionar a melhor oportunidade dentro de um conjunto de opções de investimento, cada uma com um retorno incerto. As oportunidades são testadas, seqüencialmente, uma a uma, e a ordem pela qual as oportunidades são testadas é determinada pelo decisor. Weitzman (1979) preocupava-se com a seguinte questão: Qual é a estratégia ótima de teste que maximiza o valor presente líquido? Dahan (1998) baseou-se no modelo desenvolvido por Weitzman (1979) para analisar a construção de protótipos em série e em paralelo, descobrindo ser a construção de protótipos em paralelo a mais apropriada diante de taxas de juros superiores.

O trabalho de Loch, Terwiesch e Thomke (2001) integra e aprimora os avanços obtidos por Weitzman (1979) na análise de estratégias ótimas de teste. Os autores admitem a possibilidade de se testar um conjunto variável de alternativas em cada ciclo de experimentos. O objetivo do projetista é determinar a estratégia de teste que minimiza o custo total esperado.

### 3. MODELOS E RESULTADOS

O objetivo do trabalho é construir, com o emprego de modelagem matemática, uma base metodológica que permita a comparação entre os desempenhos econômicos das duas estratégias de engenharia simultânea *set-based* e *point-based* para gerenciar projetos de inovação de produtos que contemple tanto as características do projeto em si quanto as condições do ambiente de negócios em que o projeto está inserido. Como o principal objetivo da engenharia simultânea é acelerar o desenvolvimento, reduzindo conseqüentemente o *time-to-market* do projeto, então considera-se uma relação entre o *time-to-market* (ou o *lead-time* do projeto) e o faturamento do projeto por meio da janela de oportunidades de vendas do produto no mercado. Um projeto de grande *time-to-market*, quando comparado à janela de oportunidades para as vendas do produto, acabará por faturar uma parcela reduzida do potencial total de mercado. Num ambiente de negócios com janelas de oportunidades de pequenas extensões para as vendas de produtos, é essencial acelerar o desenvolvimento do produto e conseguir um rápido lançamento de forma a capturar grande parte do faturamento potencial de mercado (ABELL, 1978; EISENHARDT, 1989).

A extensão da janela de oportunidade para as vendas está, de certa forma, relacionada à frequência com que novos produtos são lançados num determinado mercado. Se novos produtos são introduzidos muito freqüentemente, a organização

deve tornar-se hábil no desenvolvimento mais rápido de seus produtos para continuar competitiva em tal mercado (SMITH e REINERTSEN, 1998).

### 3.1. Modelo para representação da estratégia *point-based*

A estratégia *point-based* de conduzir o processo de desenvolvimento de um novo produto apresenta a característica básica de, escolhida uma alternativa de projeto, executar as tarefas de *design, build e test* (CLARK e WHEELWRIGHT, 1993), fechando um ciclo de desenvolvimento, para que se conheça adequadamente o desempenho do produto (alternativa), e saber se satisfaz ou não os requisitos de qualidade e funcionalidade desejados pelo mercado.

Na estratégia ponto a ponto, o time multidisciplinar é gerido de forma a trabalhar simultaneamente sobre uma única idéia de cada vez. Ocorre que, a cada ciclo de desenvolvimento, pode se descobrir que a idéia é parcial ou totalmente inviável do ponto de vista técnico e/ou de mercado. Assim, tenta-se, num próximo ciclo, resolver os problemas e obter êxito, para introduzir um produto cujos atributos satisfaçam os requisitos mínimos exigidos pelo mercado.

Tal processo iterativo continua até que ocorra o sucesso, isto é, até que o produto apresente características satisfatórias para ser lançado. Contudo, conforme vão se consumindo tempo e ciclos de desenvolvimento, a janela de oportunidades vai se esvaindo e diminuindo o faturamento efetivo de mercado que se poderia auferir. São apresentadas, na seqüência, as principais proposições para a modelagem da estratégia *point-based*.

#### • Proposição 1

Visando a uma maior facilidade de modelagem, a probabilidade  $p$  de sucesso é considerada a mesma para toda e qualquer alternativa de projeto disponível à equipe, além de que o sucesso de qualquer uma delas é um evento considerado estatisticamente independente do sucesso de qualquer outra.

#### • Proposição 2

Toda e qualquer alternativa de projeto apresenta os mesmos custo  $c$  e tempo  $t$  para ser desenvolvida num ciclo qualquer. Levanta-se, pois, a proposição de que não há alteração na quantidade ou qualidade dos recursos alocados para o processo ao longo dos vários ciclos de desenvolvimento. Neste modelo inicial, não estão sendo considerados também ganhos, nos custos ou no tempo médio do ciclo, como decorrência de eventuais aprendizados.

#### • Proposição 3

Imagine-se que a janela de oportunidades para um produto qualquer apresente a extensão  $W$  (tempo). Neste estudo, os modelos a discretizam em números de ciclos de desenvol-

vimento para o produto considerado, de forma a trabalhar com uma grandeza adimensional ( $w$ ). Se a janela de oportunidades para um certo produto fosse, por exemplo, de seis anos ( $W=6$ ) e o tempo de ciclo de desenvolvimento para o mesmo fosse de um ano e meio ( $t=1,5$ ), então a janela de oportunidades adimensional, empregada nos modelos deste estudo, assumiria o valor quatro ( $w=4$ ). Assim, a janela de oportunidades adimensional ( $w$ ) representa a extensão de tempo em que há possibilidades de vendas, porém medida em números de ciclos de desenvolvimento do produto. Admite-se também que a abertura da janela de oportunidades coincide com o final do primeiro ciclo de desenvolvimento.

#### • Proposição 4

O faturamento potencial total de mercado  $R$ , associado a um dado nível mínimo de desempenho e qualidade do produto, está à disposição da empresa se, e somente se, o produto for lançado logo na abertura da janela, explorando assim toda a extensão da janela de oportunidade de vendas. Caso contrário, a receita potencial decresce linearmente até anular-se, caso em que o produto ideal chegaria ao mercado somente ao final da janela.

Como forma de considerar a busca por menores *time-to-market* imposta pela competitividade no ambiente de negócios, utilizou-se a suposição de que um atraso no lançamento do produto, tomado como base o instante de abertura da janela de oportunidades, provoca uma perda no faturamento de mercado. A perda no faturamento de mercado é proporcional ao tempo transcorrido (até o momento do lançamento) desde o instante de abertura da janela em relação à extensão de toda a janela de oportunidades. Assim, o faturamento efetivo ( $R_k$ ), auferido ao lançar-se o produto ao final do  $k$ -ésimo ciclo de desenvolvimento, diante de uma janela de oportunidades de extensão ( $w$ ) e faturamento potencial total de mercado ( $R$ ), está apresentado na expressão [1]:

$$R_k = R \left[ 1 - \left( \frac{k-1}{w} \right) \right] \quad [1]$$

Na tabela da página 331 são apresentadas algumas estimativas para o faturamento total de mercado ( $R$ ) além da relação  $c_T/R$ , com  $c_T$  representando o Custo Total de Desenvolvimento, dos ciclos de vida e dos *time-to-market* de vários projetos, obtidos em Ulrich e Eppinger (2000).

Como o  $c_T/R$  dos projetos representa, na tabela, o custo total de desenvolvimento em relação ao faturamento potencial total de mercado, adotou-se na pesquisa a parametrização para os valores de  $c/R$  ( $c$  é o custo de um ciclo de desenvolvimento) como sendo 0,001, 0,005, 0,01 e 0,05, de forma a cobrir um intervalo bastante pertinente aos projetos apresentados na tabela.

A figura 3 introduz a representação em árvore da decisão seqüencial com a possibilidade de adentrar-se ao segundo ciclo

**Faturamento Potencial Total de Mercado, Relação entre Custo Total de Desenvolvimento e Faturamento Total de Mercado, Ciclo de Vida e Time-to-Market para Projetos de Diferentes Produtos**

	Ferramenta Stanley	Rollerblade	HP Deskjet	New Beetle VW	Boeing-777
R (em milhões US\$)	12	60	2.400	10.200	195.000
$c_p/R$	0,0125	0,0125	0,021	0,039	0,015
Ciclo de vida (em anos)	40	3	2	6	30
Time-to-market (anos)	1	2	1,5	3,5	4,5

Fonte: Ulrich e Eppinger (2000).

de desenvolvimento diante de possível fracasso no primeiro, para um projeto com  $R=\$100$ ,  $c=\$1$ ,  $p=80\%$  e  $w=10$ . Caso se considere tal possibilidade, o Valor Esperado passa a ser de \$ 93,2 em contraste com o Valor Esperado de \$ 79, quando considerado somente o resultado do primeiro ciclo.

Se, porém, o sucesso não ocorrer ao final do segundo ciclo, deve-se considerar a possibilidade de, se viável, adentrar ao terceiro ciclo de desenvolvimento e calcular seu efeito sobre o valor esperado do projeto. Enquanto for viável adentrar ao  $k^*$ -ésimo ciclo, o valor esperado do resultado econômico terá seu valor acrescido até que a entrada ao  $(k^*+1)$ -ésimo ciclo de desenvolvimento não for mais viável. Assim,  $k^*$  será considerado o número ótimo de ciclos e que maximiza o valor esperado do resultado econômico para a estratégia *point-based*.

A expressão [2] apresenta o  $Risco(P)$  no *point-based*, isto é, o risco de, mesmo tendo prosseguido com o desenvolvimento por  $k^*$  ciclos, não se ter encontrado uma alternativa que se mostrasse viável para ser lançada ao mercado. Na seqüência, a expressão [3] apresenta o cálculo do já otimizado resultado econômico esperado em relação ao faturamento total de mercado  $R$ . A expressão 4 apresenta o *time-to-market* ( $TTM(P)$ ) do projeto, isto é, o número esperado de ciclos até o lançamento do produto.

$$Risco(P) = (1 - p)^{k^*} = 1 - \sum_{k=1}^{k^*} p(1 - p)^{k-1} \quad [2]$$

$$E^* \left( \frac{L_p}{R} \right) = - \frac{k^* c}{R} Risco(P) + \quad [3]$$

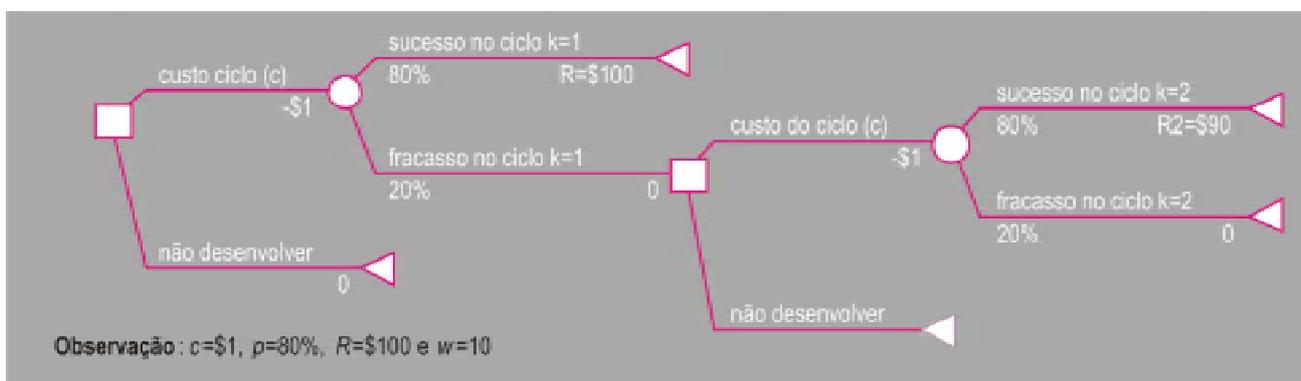
$$\sum_{k=1}^{k^*} \left( 1 - \frac{k-1}{w} - \frac{kc}{R} \right) p(1-p)^{k-1}$$

$$TTM(P) = \frac{\sum_{k=1}^{k^*} kp(1-p)^{k-1}}{\sum_{k=1}^{k^*} p(1-p)^{k-1}} \quad [4]$$

em que  $L_p$  é o resultado econômico, enquanto a relação  $L_p/R$  seria a margem do projeto.

**3.2. Modelo para a representação da estratégia set-based**

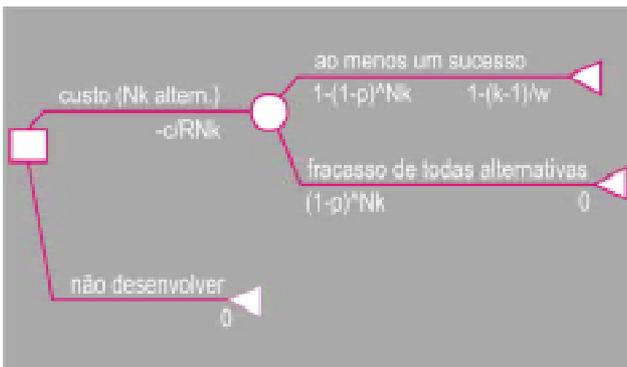
Considerando que existam diversas alternativas de projeto à disposição da equipe para serem desenvolvidas, além de que a empresa disponha de recursos suficientes para desenvolver várias alternativas de projeto em paralelo, então, a equipe seleciona  $N^*$  alternativas de projeto e todas são desenvolvidas, em paralelo, num primeiro ciclo de desenvolvimento.  $N^*$  é o número de alternativas que maximiza o valor esperado do resultado econômico. Dessa forma, basta que apenas uma das



**Figura 3: Representação, em Árvore, da Decisão de Iniciar o Segundo Ciclo de Desenvolvimento pelo Point-Based**

$N^*$  alternativas desenvolvidas apresente desempenho e qualidade satisfatórios em conformidade com o exigido pelo mercado, para que o processo terá conseguido êxito. O efeito é acelerar o processo aumentando, ainda que a maiores custos, as chances de o lançamento do produto ocorrer mais cedo. Os parâmetros e suposições utilizados no modelo da estratégia *set-based* são os mesmos do modelo do *point-based*, abordados na seção 3.1.

Contudo, diante de total falta de êxito ao final do primeiro ciclo, a equipe defronta-se com a decisão de adentrar ao segundo ciclo para desenvolver  $N^*_2$  novas alternativas, que maximiza o valor esperado do resultado econômico, considerando-se também o segundo ciclo de desenvolvimento. Há que se analisar, portanto, a viabilidade de o desenvolvimento adentrar ao  $k$ -ésimo ciclo, além do respectivo impacto no valor econômico esperado. A figura 4 introduz a representação, em árvore, da decisão de adentrar ou não ao  $k$ -ésimo ciclo e auferir o faturamento  $1-(k-1)/w$ , diante de ao menos um sucesso ao final deste  $k$ -ésimo ciclo, desembolsando  $cN_k/R$  por desenvolver as novas  $N_k$  alternativas nesse  $k$ -ésimo ciclo.



**Figura 4: Representação, em Árvore, da Decisão de Adentrar ao  $k$ -ésimo Ciclo com Novas  $N_k$  Alternativas para serem Desenvolvidas pela Estratégia Set-Based**

A expressão [5] apresenta a contribuição  $(CE_k^* \left[ \frac{L_S}{R} \right])$ , já otimizada, do  $k$ -ésimo ciclo ao valor esperado total do resultado econômico, considerando-se o número ótimo  $N^*_k$  de alternativas a serem desenvolvidas nesse  $k$ -ésimo ciclo.

$$CE_k^* \left[ \frac{L_S}{R} \right] = (1-p) \sum_{i=1}^{k-1} N^*_i \left\{ \left[ 1 - (1-p)^{N^*_k} \right] \left[ 1 - \frac{(k-1)}{w} \right] - \frac{c}{R} N^*_k \right\} \quad [5]$$

em que:

$L_S$  é o lucro ou resultado econômico obtido com a estratégia *set-based*;

$(1-p) \sum_{i=1}^{k-1} N^*_i$  é a probabilidade de, ao final do  $(k-1)$ -ésimo ciclo de desenvolvimento, não se ter encontrado sequer uma alternativa de sucesso;

$N^*_i$  é o número ótimo de alternativas desenvolvidas no  $i$ -ésimo ciclo de desenvolvimento ( $i=1, 2, \dots, k-1$ ).

O critério de parada é o de a contribuição ao valor esperado (expressão [5]) tornar-se negativa. O desenvolvimento deve continuar, pois, até o  $k^*$ -ésimo ciclo que apresenta a última contribuição positiva ao valor esperado. Conseqüentemente, o valor esperado do resultado econômico  $(E^* \left[ \frac{L_S}{R} \right])$  para a estratégia *set-based* é obtido do somatório das contribuições de todos os  $k^*$  ciclos de desenvolvimento, conforme a expressão [6].

$$E^* \left[ \frac{L_S}{R} \right] = \sum_{i=1}^{k^*} (1-p) \sum_{j=0}^{i-1} N^*_j \quad [6]$$

$$\left\{ \left[ 1 - (1-p)^{N^*_i} \right] \left[ 1 - \frac{(i-1)}{w} \right] - \frac{c}{R} N^*_i \right\}$$

em que:

$k^*$  representa o último ciclo de desenvolvimento obtido pelo critério de parada;

$N^*_i$  é o número ótimo de alternativas desenvolvidas no  $i$ -ésimo ciclo. Nota-se que  $N^*_0=0$  foi utilizado somente para efeito de apresentar a expressão [6] em forma de somatório.

As expressões [7] e [8] apresentam, respectivamente, o Risco ( $S$ ) de o processo de desenvolvimento ter de ser descontinuado, depois dos  $k^*$  ciclos, sem que se tenha obtido sequer uma alternativa de sucesso que pudesse ser lançada ao mercado e o *time-to-market* ( $TTM(S)$ ) do projeto.

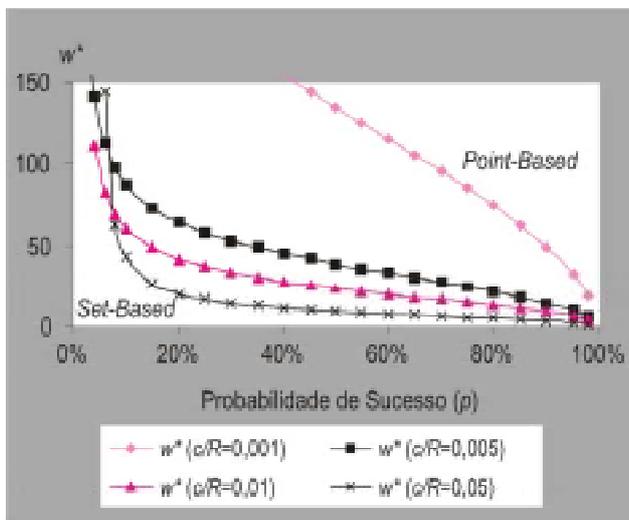
$$Risco(S) = (1-p)^{\sum_{i=1}^{k^*} N^*_i} \quad [7]$$

$$TTM(S) = \frac{\sum_{k=1}^{k^*} k(1-p) \sum_{i=1}^{k-1} N^*_i \left[ 1 - (1-p)^{N^*_k} \right]}{\sum_{k=1}^{k^*} (1-p) \sum_{i=1}^{k-1} N^*_i \left[ 1 - (1-p)^{N^*_k} \right]} \quad [8]$$

### 3.3. Obtenção da fronteira de separação e mapeamento das regiões estratégicas

A fronteira de separação é a curva dos lugares geométricos, num gráfico de extensão ( $w$ ) da janela de oportunidades e probabilidade de sucesso ( $p$ ), para os quais os valores esperados do resultado econômico das duas estratégias são iguais. A fron-

teira separa, então, duas regiões, em que cada estratégia domina a outra em termos de valor esperado do resultado econômico. Uma rotina foi desenvolvida usando a linguagem de programação do *software* Matlab com o objetivo de fazer a busca da fronteira de separação para cada valor parametrizado da relação  $c/R$ . Para uma dada probabilidade de sucesso ( $p$ ) das alternativas de projeto, a rotina busca a extensão ( $w^*$ ) da janela de oportunidades para as vendas do produto que torna os valores econômicos esperados iguais para as duas estratégias. O gráfico 1 apresenta as fronteiras para as relações de  $c/R$  de 0,001, 0,005, e 0,01 e 0,05.



**Gráfico 1: Fronteiras ( $w^*$ ) e Mapeamento das Regiões em que as Estratégias Point-Based e Set-Based Apresentam Melhores Resultados Econômicos para as Relações de  $c/R$  0,001, 0,005, 0,01 e 0,05**

Pode-se observar, pelo gráfico 1, que o *set-based* se apresenta como a estratégia de melhor resultado econômico para projetos de relações  $c/R$  menores, como no caso de projetos de relação  $c/R$  no valor de 0,001, em que o *point-based* somente figuraria como a estratégia ótima para projetos com extensas janelas de oportunidades ou com altas probabilidades de sucesso. Assim, caso sejam consideradas as ordens de grandezas das extensões de janela de oportunidades dos projetos apresentados na tabela (com exceção daquela para a Ferramenta Stanley), pode-se observar, pelo gráfico 1, que o *set-based* é a melhor estratégia para projetos com relação  $c/R$  menores do que 0,005, ainda que com baixos níveis de incerteza técnica (alta probabilidade de sucesso —  $p$ ). Considerando projetos de relações  $c/R$  maiores, como é o caso de  $c/R=0,05$ , pode-se observar, pelo gráfico 1, que o *set-based* aparece como a estratégia de maior potencial para gerenciar projetos nas condições mais desfavoráveis, com maiores níveis de incerteza

(baixa probabilidade de sucesso —  $p$ ) e/ou diante de janelas de oportunidades de pequenas extensões para as vendas do produto (ambientes de negócios mais competitivos).

### 3.4. Regiões estratégicas, risco e *time-to-market* com efeitos da aprendizagem

As equipes de projeto podem apresentar ganhos provenientes de aprendizado por ter acumulado experiência no desenvolvimento de alternativas de projeto em ciclos de desenvolvimento anteriores (LEONARD-BARTON, 1992; BESSANT e FRANCIS, 1999; GARVIN, 2003). Tal fator fôra negligenciado até então e, agora, analisar-se-ão seus efeitos sobre os valores esperados das duas estratégias de desenvolvimento e consequentemente sobre a fronteira de separação. Sabe-se que o ganho com o aprendizado de um trabalhador ou equipe decorre do acúmulo de conhecimento e experiência que obtêm realizando mais de uma vez a mesma tarefa ou tarefas similares. Tal ganho de produtividade pode ser traduzido por uma curva de aprendizagem com um certo “percentual de aprendizado”, conforme Ballouf (1971). O tempo ou recursos gastos na execução da tarefa vai decrescendo, isso significa que a equipe realiza a mesma tarefa cada vez mais rápido ou gastando menos recursos. Se o percentual de aprendizado for, por exemplo de 80%, há uma economia de 20% nos recursos (ou tempo) a cada vez que o número de tarefas é dobrado.

Nos modelos deste estudo, o efeito da aprendizagem é considerado sobre os gastos incorridos num ciclo de desenvolvimento de uma alternativa de projeto qualquer. Admitiu-se nos modelos anteriores que tal custo ( $c$ ) era constante para qualquer alternativa e em qualquer ciclo de desenvolvimento. Agora, far-se-á a proposição de que tal custo vai diminuindo ao longo dos ciclos como resultado do aprendizado. Adotando-se um percentual de aprendizado de 80%, então o custo de desenvolver a  $k$ -ésima alternativa pela estratégia *point-based* é calculado conforme a curva de aprendizagem apresentada pela expressão [9].

$$c_p(k) = ck^{-0,321928} \quad [9]$$

em que:

- $c_p(k)$  é o custo de desenvolvimento da  $k$ -ésima alternativa de projeto diante da experiência de já ter desenvolvido ( $k-1$ ) alternativas anteriores, pela estratégia *point-based*;
- $c$  é o custo inicial, isto é, o custo para desenvolver a primeira alternativa de projeto;
- $-0,321928$  é o expoente que assegura um percentual de aprendizado de 80%.

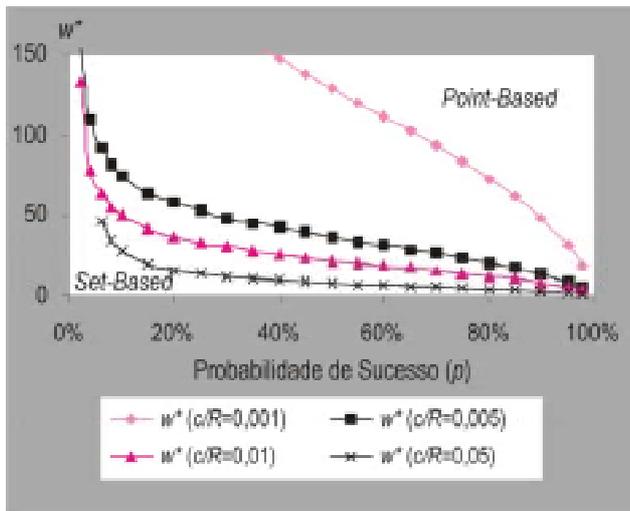
Para o *set-based*, a curva de aprendizagem está apresentada na expressão [10].

$$c_S(k) = c \left( \sum_{i=0}^{k-1} N^*_i \right)^{-0,321928} \quad [10]$$

em que:

$c_S(k)$  é o custo de desenvolvimento de qualquer uma das  $N^*_k$  novas alternativas conduzidas ao  $k$ -ésimo ciclo de desenvolvimento na estratégia *set-based*.

O gráfico 2 apresenta as fronteiras para todas as relações de  $c/R$  parametrizadas na pesquisa, já considerando os efeitos do aprendizado.



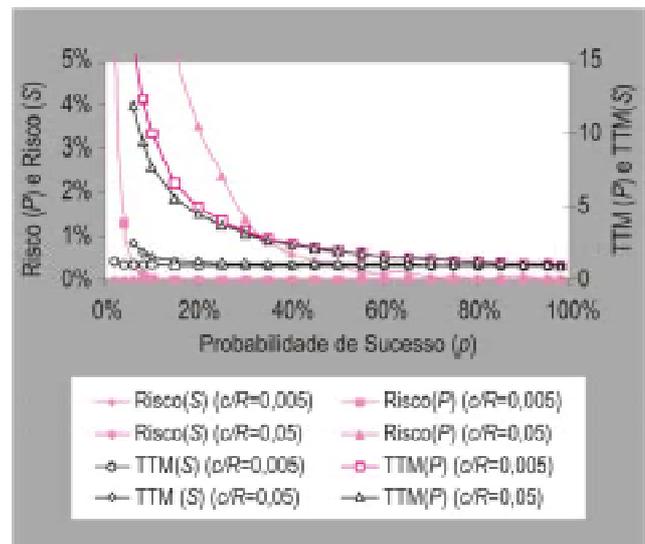
**Gráfico 2: Fronteiras ( $w^*$ ) e Mapeamento das Regiões em que as Estratégias Point-Based e Set-Based Apresentam Melhores Resultados Econômicos para as Relações de  $c/R$  0,001, 0,005, 0,01 e 0,05, Considerados os Efeitos de Aprendizagem**

Os efeitos do aprendizado sobre os valores esperados dos resultados econômicos de ambas as estratégias são maiores para projetos com alternativas de baixas probabilidades de sucesso ( $p$ ), já que projetos com alternativas de altas probabilidades de sucesso tendem a encontrar o sucesso logo nos primeiros ciclos, não chegando a usufruir dos ganhos com o aprendizado. Por outro lado, pode-se observar, pelo gráfico 2, que a estratégia *point-based* é a mais beneficiada com os ganhos do aprendizado, ainda que de forma tímida, já que há uma diminuição na região onde o valor esperado do *set-based* é superior, isto é, a curva da fronteira ( $w^*$ ) sofre um pequeno deslocamento para baixo em relação àquela sem o efeito do aprendizado (gráfico 1).

O *point-based* beneficia-se mais devido à forma da distribuição de probabilidades de seu resultado econômico ao longo dos ciclos de desenvolvimento. Para projetos com alternativas

de baixas probabilidades de sucesso, o crescimento da probabilidade acumulada da ocorrência do sucesso é relativamente mais lento ao longo dos vários ciclos para o *point-based*. Isso repercute mais em seu resultado econômico elevando-o, já que as contribuições ao valor esperado provenientes de ciclos mais tardios, carregados com os efeitos do aprendizado (custos menores) têm probabilidades mais consideráveis do que no *set-based*. Em outras palavras, o desenvolvimento de um projeto, mesmo com alternativas de baixas probabilidades de sucesso, pelo *set-based* apresenta probabilidade bastante alta de o sucesso ocorrer logo nos primeiros ciclos fazendo com que qualquer ganho advindo de aprendizado não seja usufruído, contribuindo muito pouco para o valor esperado do resultado econômico.

O gráfico 3 apresenta o Risco( $P$ ) e o Risco( $S$ ) que representam, conforme as expressões [2] e [7], os riscos, respectivos às estratégias *point-based* e *set-based*, de o processo de desenvolvimento ter de ser descontinuado sem antes ter-se obtido êxito com o lançamento do produto. Esses valores são obtidos para as condições das fronteiras para as relações de  $c/R$  de 0,005 e 0,05. O gráfico 3 traz, ainda, os valores dos *time-to-market* ( $TTM(P)$  e  $TTM(S)$ ) para as duas estratégias, também sob as condições das fronteiras de  $c/R$  de 0,005 e 0,05.



**Gráfico 3: Risco( $P$ ), Risco( $S$ ),  $TTM(P)$  e  $TTM(S)$  Obtidos sob as Condições das Fronteiras para as Relações de  $c/R$  de 0,005 e 0,05**

Observando o gráfico 3, pode-se notar que os níveis de risco das duas estratégias tendem a anular-se para projetos cujas alternativas apresentem probabilidades de sucesso ( $p$ ) superiores a aproximadamente 70%, bem como os valores dos *time-to-market*, também para as duas estratégias, aproximam-

se de um ciclo de desenvolvimento. Verificou-se a repetição desses resultados também para as condições que não aquelas das fronteiras. Portanto, o *set-based* apresenta-se como a estratégia dominante em termos de risco e *time-to-market*. Essa dominância foi verificada não só sob as condições das fronteiras, como apresentado no gráfico 3, mas também para grande parte da região estratégica do *point-based* (acima das fronteiras) e, principalmente, na própria região estratégica do *set-based*.

#### 4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Buscando comparar os desempenhos econômicos das estratégias *set-based* e *point-based* na gestão de projetos de inovação, sob as mais variadas condições, este trabalho obteve o mapeamento das regiões estratégicas. Tais regiões são definidas por algumas condições de projeto (nível de incerteza e custo de desenvolvimento) e de mercado (faturamento total de mercado e extensão da janela de oportunidades para as vendas) para as quais uma das estratégias de desenvolvimento é superior à outra em termos de resultado econômico e, separadas por uma curva de fronteira num gráfico de extensão da janela de oportunidades e probabilidade de sucesso. Modelagens matemáticas foram desenvolvidas com o objetivo de representar os desempenhos econômicos das duas estratégias e possibilitar a obtenção das fronteiras, por meio de comparações desses desempenhos. O mapeamento das regiões estratégicas é uma contribuição à literatura, possibilitando implicações gerenciais no sentido de determinar a melhor estratégia para a gestão de projetos de inovação, conhecidas algumas das principais características do projeto em si e do ambiente de negócios.

O mapeamento obtido aponta o *set-based* como a estratégia de melhor resultado econômico para projetos de baixos custos de desenvolvimento, como as inovações incrementais, exceto aqueles de muito pouca incerteza técnica ou diante de extensões muito grandes de janelas de oportunidades, cuja gerência seria mais econômica pelo *point-based*. Por outro lado, os resultados mostram o *set-based* como a estratégia de melhor potencial para gerenciar projetos nas condições mais desfavoráveis, isto é, com altos custos de desenvolvimento quando estes apresentarem também altos níveis de incertezas técnicas (baixas probabilidades de sucesso) e/ou em ambientes de negócios mais dinâmicos (janelas de oportunidades de pequenas extensões). Ainda, em termos de risco e *time-to-market*, os resultados mostraram ser o *set-based* a estratégia dominante, apresentando níveis muito baixos de risco além de valores de *time-to-market* muito próximos de um ciclo de desenvolvimento.

Tais resultados trazem contribuições à literatura no sentido de que comprovam as suposições, encontradas principalmente em Sobek II (1997), de que o *set-based* seria a estratégia de melhor resposta a projetos de desenvolvimento que enfrentam condições mais desfavoráveis, isto é, de maiores incertezas e

complexidades e em ambientes mais dinâmicos. A complexidade e incerteza a que Sobek II (1997) se refere podem ser compreendidas, ainda que simplificada e representada nas modelagens deste artigo, pela probabilidade de sucesso ( $p$ ). Por outro lado, ambientes de negócios mais estáveis, para Sobek II (1997), podem ser compreendidos, também de forma simplificada, como mercados (produtos) que apresentam janelas de oportunidades relativamente grandes, nas modelagens deste estudo.

Os resultados desta pesquisa também confirmam as suposições de Sobek II (1997) de que o *point-based* seria mais apropriado para situações em que se conhece muito bem o problema de projeto ou em ambientes mais estáveis nos quais não haja grandes mudanças, o que nas modelagens deste estudo, equivaleria, respectivamente, a alternativas de projeto de altas probabilidades de sucesso ( $p$ ) e a maiores extensões ( $w$ ) de janelas de oportunidades.

Encontrou-se, também, sustentação na pesquisa desenvolvida por Eisenhardt e Tabrizi (1995), para conhecer os padrões de aceleração empregados no processo de desenvolvimento de produtos. Os autores evidenciaram a engenharia simultânea tradicional (*point-based*) como a estratégia mais utilizada em empresas de computadores de grande porte e minicomputadores para as quais o ambiente de negócios apresentava-se mais estável e maduro. Caso se considere que janelas de oportunidades de grandes extensões representam ambientes menos dinâmicos, com baixa frequência de lançamento de novos produtos, num ritmo menor de mudanças e evolução dos requisitos do mercado, os resultados desta pesquisa estão de acordo com os de Eisenhardt e Tabrizi (1995) de que o *point-based* seria a estratégia mais adequada a projetos de novos produtos em mercados mais estáveis.

Melhorar a representatividade das modelagens, aproximando-as ainda mais da realidade é uma sugestão para a continuidade desta pesquisa. Outros fatores ou dimensões ainda não explorados nas modelagens poderiam ser analisados e considerados pela incorporação de variáveis pertinentes: aspectos da complexidade do projeto, em termos de número de componentes e suas inter-relações, bem como aspectos relacionados às incertezas de mercado e os efeitos da dinâmica nos requisitos dos consumidores. Como tais requisitos podem alterar-se ao longo do processo de desenvolvimento, aspectos relacionados ao congelamento de especificações poderiam ser implementados e analisados. Por outro lado, o potencial demonstrado pelo *set-based*, com base nos resultados do trabalho, de proteção contra os riscos técnicos e/ou de mercado podem ser mais bem explorados com a incorporação, por exemplo, de uma análise de risco nos moldes das teorias de opções reais (HOWARD, 1996) e de carteiras de investimentos (MARKOWITZ, 1952; 1959). Ainda, o mapeamento obtido nesta pesquisa poderia ser contrastado com as estratégias praticadas em projetos de desenvolvimento de novos produtos em organizações de vários setores brasileiros. ♦

- ABELL, D.F. Strategic windows: the time to invest in a product or market is when a 'strategic window' is open. *Journal of Marketing*, New York, v.44, n.3, p.21-26, July 1978.
- BALOFF, N. Extensions of the learning curve: some empirical results. *Operational Research Quarterly*, London, v.22, n.4, p.329-340, Dec. 1971.
- BESSANT, J.; FRANCIS, D. Developing strategic continuous improvement capability. *International Journal of Operations and Production Management*, Bradford, v.19, n.11, p.1106-1119, Nov. 1999.
- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance*. Boston (MA): Harvard Business School Press, 1991.
- CLARK, K.B.; WHEELWRIGHT, S.C. *Revolutionizing product development*. New York: The Free Press, 1993.
- COOPER, R.G.; KLEINSCHIMDT, E.J. Determinants of timeliness in product development. *Journal of Product Innovation Management*, Malden, v.11, n.5, p.381-396, Nov. 1994.
- DAHAN, E. *Reducing technical uncertainty in product and process development through parallel design of prototypes*. Stanford University, 1998. Disponível em: <<http://web.mit.edu/edahan/www/WorkingPaperParallelTestingTechnicalFeasibilitybyDahanMendelson.pdf>>. Acesso em: ago. 2002.
- EISENHARDT, K.M. Making fast strategic decisions in high-velocity environments. *Academy of Management Journal*, Ohio, v.32, n.3, p.543-579, Sept. 1989.
- EISENHARDT, K.M.; TABRIZI, B.N. Accelerating adaptive processes: product innovation in the global computer industry. *Administrative Science Quarterly*, Ithaca, v.40, n.1, p.84-110, Mar. 1995.
- ETTLIE, J.E.; STOLL, H.W. *Managing the design-manufacturing process*. New York: McGraw-Hill, 1990.
- GARVIN, D.A. *Learning in action: a guide to putting the learning organization to work*. Boston (MA): Harvard Business School Press, 2003.
- GRIFFIN, A. The effect of project and process characteristics on product development cycle time. *Journal of Marketing Research*, Chicago, v.34, n.1, p.24-35, Feb. 1997.
- HOWARD, R.A. Options. In: ZECKHAUSER, R.J.; KEENEY, R.L.; SEBENIUS, J.K. *Wise choices: decisions, games and negotiations*. Boston (MA): Harvard Business School Press, 1996. Chapter 5, p.81-101.
- HULL, F.M.; COLLINS, P.D.; LIKER, J.K. Composite forms of organization as a strategy for concurrent engineering effectiveness. *IEEE Transactions on Engineering Management*, New York, v.43, n.2, p.133-142, May 1996.
- IANSITI, M. Shooting the rapids: managing product development in turbulent environments. *California Management Review*, Berkeley, v.38, n.1, p.37-58, Fall 1995.
- KRUGLIANSKAS, I. Engenharia simultânea e técnicas associadas em empresas tecnicamente dinâmicas. *Revista de Administração da Universidade de São Paulo (RAUSP)*, São Paulo, v.30, n.2, p.25-38, abr./jun. 1995.
- LEONARD-BARTON, D. The factory as a learning laboratory. *Sloan Management Review*, Cambridge, v.34, n.1, p.23-38, Fall 1992.
- LOCH, C.H.; TERWIESCH, C.; THOMKE, S. Parallel and sequential testing of design alternatives. *Management Science*, Providence, v.45, n.5, p.663-678, May 2001.
- MARKOWITZ, H.M. Portfolio selection. *The Journal of Finance*, Chicago, v.7, n.1, p.77-91, Mar. 1952.
- \_\_\_\_\_. *Portfolio selection*. New York: John Wiley, 1959.
- NELSON, R.R. Uncertainty, learning and the economics of parallel research and development efforts. *The Review of Economics and Statistics*, Amsterdam, v.43, n.4, p.351-364, Nov. 1961.
- SMITH, P.G.; REINERTSEN, D.G. *Developing products in half the time*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- SOBEK II, D.K. *Principles that shape product development systems: a Toyota-Chrysler comparison*. 1997. Dissertation (Ph.D.) — University of Michigan, Michigan, United States of America.
- SYAN, C.S.; MENON, U. *Concurrent engineering: concepts, implementation and practice*. London: Chapman & Hall, 1994.
- TAKEUCHI, H.; NONAKA, I. The new new development game. *Harvard Business Review*, New York, v.64, n.1, p.137-146, Jan./Feb. 1986.
- TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. *Managing innovation: integrating technological, market, and organizational change*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. *Product design and development*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- WARD, A.C.; LIKER, J.K.; CRISTIANO, J.J.; SOKEK II, D.K. The second Toyota paradox: how delaying decisions can make better cars faster. *Sloan Management Review*, Cambridge, v.36, n.2, p.43-61, Spring 1995.
- WEITZMAN, M.L. Optimal search for the best alternative. *Econometrica*, Menasha, v.47, n.3, p.641-654, May 1979.

## ABSTRACT

**Comparing concurrent engineering approaches: set-based versus point-based**

This study compares, applying mathematical modeling, the economic results of the employment of two strategies of new product development management: Point-Based Concurrent Engineering which conducts the development through improvements from a unique initial concept and Set-Based Concurrent Engineering where the development process works in parallel from a set of initially viable concepts. Mathematical models were developed to compare the economic performance of new product projects with different technical uncertainties and business environment conditions. Time-to-market and risk analyses are also developed. The main result is the strategic regions mapping, defined by project and business environment conditions. Such mapping brings managerial implications because it determines the best strategy to be employed in any innovation, well-known the project and the business environment characteristics. The results show Set-Based as the most economic strategy to manage projects under the most unfavorable conditions besides presenting great superiority and robustness regarding the risk levels and time-to-market.

**Uniterms:** managing new product development, set-based and point-based concurrent engineering, profitability and risk in new product projects.

## RESUMEN

**Ingeniería concurrente: una comparación de las estrategias set-based y point-based**

En este estudio se comparan, por medio de modelos matemáticos, los resultados económicos del empleo de dos estrategias de gestión del proceso de desarrollo de productos: la ingeniería concurrente *point-based*, en que se conduce el desarrollo por medio de mejoras desde un único concepto inicial, y la ingeniería concurrente basada en conjunto de alternativas (*set-based*), donde los trabajos del proceso de desarrollo ocurren en paralelo a partir de un conjunto de conceptos inicialmente viables. Los modelos matemáticos fueron desarrollados con el objetivo de comparar el desempeño económico de proyectos de nuevos productos según diferentes condiciones de incertidumbres técnicas y de ambiente de negocios. También se desarrollaron análisis de riesgo y de *time-to-market*. Como principal resultado, se obtuvo la identificación de regiones estratégicas, definidas por condiciones del proyecto y del ambiente de negocios. Dicha identificación tiene implicaciones directivas, dado que permite determinar la mejor estrategia a aplicarse para cada innovación, conocidas las condiciones del proyecto y las características del ambiente de negocios. Los resultados señalan el *set-based* como la estrategia más económica para administrar proyectos con condiciones más desfavorables, asimismo, presenta gran superioridad y robustez con respecto a los niveles de riesgo y de *time-to-market*.

**Palabras clave:** gestión del desarrollo de nuevos productos, ingeniería concurrente, estrategia *set-based*, estrategia *point-based*, rentabilidad y riesgo en proyectos de nuevos productos.

**RAUSP**  
Revista de Administração

CONHECIMENTO E PESQUISA  
NO SITE DA RAUSP

[www.rausp.usp.br](http://www.rausp.usp.br)



Visite o site da RAUSP. Acadêmicos e profissionais ligados ao estudo da Administração podem contar com essa importante ferramenta de pesquisa.