

# O Uso da Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Possíveis Soluções (sbce) no Projeto de Veículos Automotivos

**Henrique Martins Rocha**  
hmartins@aedb.br  
UERJ & AEDB

**Maurício César Delamaro**  
delamaro@feg.unesp.br  
UNESP-FEG

**Ligia Maria Fonseca Affonso**  
ligia.affonso@yahoo.com.br  
UNIFOA

**Resumo:** O artigo analisa as bases conceituais da engenharia simultânea baseada em conjuntos de possíveis soluções (SBCE) e sua aplicação no projeto de veículos automotivos. A pesquisa bibliográfica inicial foi seguida por uma pesquisa de campo no centro de desenvolvimento de uma montadora instalada na região Sul Fluminense: inicialmente foram levantadas as bases matemáticas que justificaram a prática da empresa em desenvolver três conceitos (três ideias) para cada mecanismo ou detalhe de projeto, por meio das quais se identificou a redução substancial na probabilidade de se necessitar fazer algum redesenho ao serem desenvolvidos os múltiplos conceitos. Em seguida, foi desenvolvido um modelo matemático que permite estabelecer por meio do Solver/Excel, a quantidade ótima de conceitos que devem ser desenvolvidos, visando maximizar os ganhos nos processos de desenvolvimento de novos produtos, tratando-se de um modelo que pode ser replicado em diversas organizações que busquem maximizar os retornos dos investimentos feitos no desenvolvimento de novos produtos.

**Palavras Chave:** Processo de desenvol - SBCE - Indústria automotiva - postergação - Projeto conceitual

## 1. INTRODUÇÃO

Foco de atenção na literatura acadêmica e empresarial (ARAÚJO JUNIOR, 2000; SENANAYAKE; LITTLE, 2001; TESCH; KLOPPENBORG; STEMMER, 2003), o PDP (processo de desenvolvimento de produtos) precisa ser eficiente e eficaz, de forma a garantir que a organização alcance e mantenha uma posição estratégica frente à pressão dos competidores e do mercado (TAKEUCHI; NONAKA, 1986; LAM; CHIN, 2005; ROCHA; DELAMARO, 2007), tratando-se de um fator crítico para seu sucesso (ROCHA, 2005; 2009; ROCHA *et al.*, 2010a; 2010b; ROCHA; DELAMARO, 2011).

Especificamente no setor automotivo, são cada vez maiores as exigências de qualidade, flexibilidade, desempenho logístico, redução de custos, junto às transformações tecnológicas dos produtos (ARBIX; VEIGA, 2003; ZACHARIA; MENTZER, 2007). Tal aspecto assume importância vital na indústria nacional brasileira, a qual passou de um modelo de mera substituição de importações (LATINI, 2007) a um dos maiores produtores e desenvolvedores de tecnologia nesta área: segundo Dias e Salerno (2003), as competências desenvolvidas no período do mercado fechado no Brasil permitiram o desenvolvimento dos primeiros produtos “locais”, baseados em plataformas existentes, e, conforme Segismundo e Miguel (2008), as unidades locais vêm se tornando cada vez menos dependentes das matrizes no desenvolvimento de seus produtos.

O presente artigo aborda o uso dos princípios do pensamento enxuto no desenvolvimento de produtos automotivos, em especial, a utilização do Set-based Concurrent Engineering (ou Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Possíveis Soluções - SBCE) para a escolha da concepção do produto, o qual “ênfatiza o desenvolvimento paralelo de opções de soluções” (ROZENFELD *et al.*, 2006, p.530).

## 2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

O estudo de Cusumano e Nokeaba (1990) examinou as maiores variáveis no processo de desenvolvimento de produtos automotivos durante os anos 1985-1990. Os autores ressaltaram que cada dia de atraso na indústria automotiva tem o custo estimado de cerca de US\$1M em lucros perdidos, concluindo então que as companhias que conseguissem lançar seus produtos não mais que quatro ou cinco meses mais rapidamente que seus competidores tinham um potencial de lucros adicionais de centenas de milhões de dólares.

A fase de projeto representa somente 5% dos custos totais do desenvolvimento de um produto, mas fixam 70% dos custos operacionais (MILLER, 1993). Whitney (1988) *apud* Muniz Júnior (2010) reforça tais proporções, ao citar que na Rolls-Royce, o projeto determina 80% do custo final de produção. No entanto, a mortalidade, desde a ideia básica até se chegar a um produto lucrativo, é de 95% (HOOLIS; PUGH, 1990). De cada dez ideias sobre novos produtos, três serão desenvolvidas, 1,3 será lançada no mercado e apenas uma será lucrativa, conforme pesquisa realizada junto a 500 empresas nos anos 90 pelo Design Council da Inglaterra (BAXTER, 2003). Tal pesquisa mostrou que somente 45% das empresas conseguiam manter os custos de produção dentro das previsões e que somente 49% conseguiam lançar seus produtos no tempo programado: em média, os produtos custavam 13% acima do orçado e eram lançados com seis meses de atraso. Outro estudo (VAN KLEFF, 2006) mostrou que as taxas de falha ou insucesso no desenvolvimento de novos produtos variaram entre 25 e 67%.

De acordo com Dal Forno *et al.* (2008, p.46),

A fase de Projeto Conceitual, aliado aos princípios Lean, favorece a identificação do que é valor e como o valor deve ser incorporado no produto é crucial para a eficácia do empreendimento. Este assunto torna-se

relevante, já que nessa fase do projeto ocorre o desenvolvimento do conceito que influencia diretamente no desempenho do produto e, conseqüentemente, seus resultados positivos no mercado.

Justifica-se, desta forma, a pesquisa executada, a qual teve como objetivo a exploração das bases teórico-conceituais do SBCE e sua aplicação prática no PDP de veículos automotivos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa ocorreu na forma bibliográfica e de campo, com a contribuição esperada de identificar práticas, ferramentas, técnicas, métodos e mecanismos que permitam aumentar a chance de sucesso no PDP por meio do uso do SBCE. O método empregado para atendimento aos objetivos propostos previa os seguintes passos:

- Levantamento, por meio de pesquisa bibliográfica, dos principais mecanismos de suporte técnico-científico aplicados nos PDPs das organizações;
- Identificação de pesquisadores, professores e técnicos (ou equipes) envolvidos na pesquisa e suporte aos PDPs, em especial no Polo Automotivo instalado na região Sul-fluminense;
- Levantamento das mais recentes e inovadoras tecnologias aplicadas ao PDP das empresas instaladas na região delimitada;
- Acompanhamento, através de reuniões técnicas, do desenvolvimento dos projetos em pelo menos um dos grupos instalados na região delimitada de estudo;
- Estudo comparativo de equivalências entre as práticas identificadas na literatura e as utilizadas nas empresas estudadas;
- Levantamento complementar, por meios de pesquisa bibliográfica e visitas técnicas em empresas correlatas, das estratégias e dos modelos de maiores êxitos em PDP;
- Levantamento qualitativo e quantitativo dos sistemas utilizados nos PDPs;
- Mapear práticas que apresentem o uso de metodologias não convencionais para o seu desenvolvimento avaliando se e como isso diz respeito à concepção mais ampla do processo;
- Investigar e mapear técnicas disponíveis, porém ainda não aproveitadas, com este propósito, e que apresentem um potencial de alguma forma relevante.

No que tange a pesquisa de campo, foi executada na fábrica de veículos comerciais instalada na região Sul Fluminense. Com uma população de aproximadamente 4.500 pessoas e capacidade de produção de 300 unidades por dia, a unidade se transformou em uma referência mundial com a criação do Centro Mundial de Desenvolvimento dos Caminhões e Ônibus, um espaço de pesquisas e criação de novos modelos, e também de desenvolvimento de novas tecnologias embarcadas nos produtos. Os resultados do trabalho deste centro são compartilhados com engenheiros da Alemanha e aplicados em veículos produzidos pela empresa em outros lugares do planeta: nos últimos anos, o know-how adquirido no Brasil foi levado para plantas inauguradas no México e na África do Sul.

Justifica-se tal escolha também pela relevância da citada empresa, a qual é tema de estudo de diversos autores (ABREU; BEYNON; RAMALHO, 2000; ABREU *et al.*, 1999; BALDWIN; CLARK, 1997; BEYNON; RAMALHO, 1999; CAMUFFO, 2002; CARRINCAZEUX; LUNG, 1997; CARVALHO, 1997; COLLINS; BECHLER; PIRES,

1997; CORREA, 2001; KUBO; SILVA; LIMA, 2006; MARX; ZILBOVICIUS; SALERNO, 1997; OLIVEIRA; MARINS; ROCHA, 2006; OLIVEIRA; ROCHA, 2005; PIRES, 1998, 2002; RESENDE *et al.*, 2002; SALERNO; DIAS; ZILBOVICIUS, 1999; SALERNO; CAMARGO; LEMOS, 2008; SALERNO; ZILBOVICIUS, 1997; DORAN; HILL, 2009), por conta de seu modelo de Consórcio Modular, no qual os parceiros da empresa mãe atuam diretamente na linha de montagem do produto final, dividindo não só o espaço físico, mas também responsabilidades.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A abordagem de múltiplos conceitos (ideias) durante o desenvolvimento não é nova: Krishnan e Bhattacharya (2002) abordaram o desenvolvimento de produtos na situação de incerteza tecnológica, ou seja, a decisão entre utilizar uma tecnologia robusta e comprovada ou optar pela seleção de uma tecnologia ainda incerta, porém com possibilidade de alavancagem competitiva do produto. Através do uso de fórmulas estocásticas, os autores desenvolveram modelos que permitem avaliar, com base nas variáveis “margens esperadas pelo uso da nova tecnologia”, “impacto pelo atraso do desenvolvimento”, “demanda esperada”, “custo” e “tempo total esperado”, estabelecer o ponto ótimo para decisão de tecnologia, permitindo minimizar os riscos e maximizar o valor esperado no processo de desenvolvimento do produto, permitindo inclusive a avaliação de redundância no desenvolvimento (tecnologia comprovada e nova tecnologia), pesando o acréscimo de custo em comparação com o respectivo aumento de valor esperado, via também redução de riscos. Modelos estocásticos para melhoria dos PDPs foram também desenvolvidos por Adler *et al.* (1995), Bhuiyan, Gerwin e Thomson (2004), Kleyner (2005) e Lee e Suh (2008).

Conforme Ferreira e Alcântara (2008, p.2), “a remodelagem do produto e do processo, a fim de retardar o ponto de diferenciação do produto para mais próximo da demanda, aumentam a flexibilidade para lidar com as variações do mercado”, conceito também defendido por Chen e Iyigun (2004).

MacCormack, Verganti e Iansiti (2001) trouxeram uma nova abordagem ao tema, ao desafiar o paradigma de que projetos efetivos são caracterizados por uma estrutura que minimiza as mudanças, com base na estabilidade do conceito e tecnologia. Segundo os autores, a incerteza e o ambiente dinâmico representam desafios fundamentais para os modelos aceitos de desenvolvimento de novos produtos. Os mesmos propõem maiores investimentos no desenvolvimento da arquitetura, junto ao constante feedback durante as diversas fases de desenvolvimento (com possíveis alterações advindas destes) e possibilidade constante de flexibilidade no produto, resultam em melhores projetos e produtos desenvolvidos. O conceito básico por trás do estudo em questão indica que tais práticas são realmente vantajosas em ambientes altamente mutáveis, desde que se utilizem conceitos de intercambialidade tecnológica em plataformas e arquiteturas robustas, visto que, segundo os autores, diversos excelentes projetos (julgados pela qualidade do produto final) sofreram inúmeras alterações nas fases finais de desenvolvimento, por meio do uso de um modelo flexível em um ambiente que apresenta altos níveis de incerteza.

Ward (2002) identificou, dentre as possíveis formas de perdas em PDP, o Wishful Thinking (mentalidade otimista), caracterizado como a seleção prematura, experimentação e questionamentos inadequados, destacando que os processos tradicionais frequentemente tomam decisão sem base em dados. Tal preocupação dá a base fundamental para a denominada Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Possíveis Soluções (Set-based Concurrent Engineering – SBCE), descrita por Battaglia, Pichi e Ferro (2005, p.5):

Os designers da Toyota pensam em termos de conjunto de possíveis alternativas num primeiro momento, e, à medida que a data limite para o

lançamento do produto se aproxima, esse conjunto de alternativas vai sendo reduzido. As possíveis soluções vão se afunilando. O que se mostra inviável é descartado e o que resta continua a ser estudado. O resultado final, portanto, não fica sujeito a mudanças. A solução é definitiva.

Algumas decisões são propositadamente retardadas, por mais paradoxal que isso possa parecer, pois se tomadas no início do processo e de forma equivocada podem vir a invalidar grande parte do trabalho a ser feito dali em diante. Atrasos dessa natureza podem comprometer o timing de lançamento e inviabilizar o projeto como um todo.

Informações mesmo incompletas, não definitivas e antecipadas são passadas para os fornecedores, que seguem o mesmo método: apresentam uma gama de soluções e, junto com a montadora, vão descartando as alternativas que se mostram menos viáveis. A relação da Toyota com seus fornecedores é bastante peculiar com parcerias efetivas, e usa a sua cadeia de fornecedores como fonte de conhecimento e melhoria de competitividade.

O PDPNet (2009) cita Sobek *et al.* (1999), relatando que o objetivo da SBCE é: evitar o abandono prematuro de boas idéias para garantir uma eficiência do planejamento e, também, reduzir os riscos e o retrabalho e a sensação de “correr atrás do planejamento”, reduzindo, na prática, o tempo de desenvolvimento. Cita também Kennedy (2003), relatando que o SBCE evita o risco por meio da redundância, robustez e captura de conhecimento. Dal Forno *et al.* (2008, p.51) citam Morgan e Liker (2006), que relatam que a abordagem SBCE é “baseada no Diagrama de Venn, na qual a faixa aceitável da solução do projeto situa-se na intersecção entre a capacidade do produto, alternativas de processo e alternativas de solução”.

## 5. USO DO SBCE

A área de Conceituação da empresa estudada adota como prática de trabalho o desenvolvimento de três conceitos (três ideias) para cada mecanismo ou detalhe de projeto. Tal conceito, que, a princípio poderia indicar o uso maior de recursos do que o necessário, o que levaria a um tempo maior de desenvolvimento (ou seja, por que desenhar três vezes a mesma coisa?), apresenta, ao contrário, uma lógica bastante robusta e que permite o ganho substancial no tempo e na utilização de recursos. Um exemplo simples mostra a potencialidade de tal conceito: na hipotética situação de haver 90% de acerto nas ideias em um produto que contasse com somente 50 variáveis (ou seja, 50 itens que precisassem de um conceito próprio), a probabilidade de ter-se o desenvolvimento do produto sem erros, visto que todas as ideias teriam de funcionar a contento para que o conceito do produto não tivesse qualquer falha, seria de  $0,9^{50} = 0,5145\%$ , ou seja, há uma probabilidade de aproximadamente 99,5% do projeto precisar ser redesenhado em algum(ns) ponto(s).

Nesta mesma situação, caso fossem elaborados três conceitos diferentes para cada uma das variáveis, a probabilidade de que as três ideias viessem a falhar (com a premissa de 90% de acerto) seria de  $0,1^3 = 0,1\%$ . Isso significa, portanto, que haveria uma probabilidade de 99,9% de que pelo menos uma das ideias funcionasse a contento (escolher-se-ia, então, a melhor delas: mais robusta, mais fácil de implementar, mais barata, etc.). Outra forma de analisar seria a distribuição binomial acumulada de zero, uma ou duas falhas em três ocorrências, para a qual seria utilizada a fórmula (MONTGOMERY; RUNGER, 2009)

$$P(x) = n! P^x (1-P)^{n-x} / [x!(n-x)!] \quad (1)$$

Sendo

P → probabilidade de ocorrência;

x → quantidade de ocorrências;

n → quantidade de eventos.

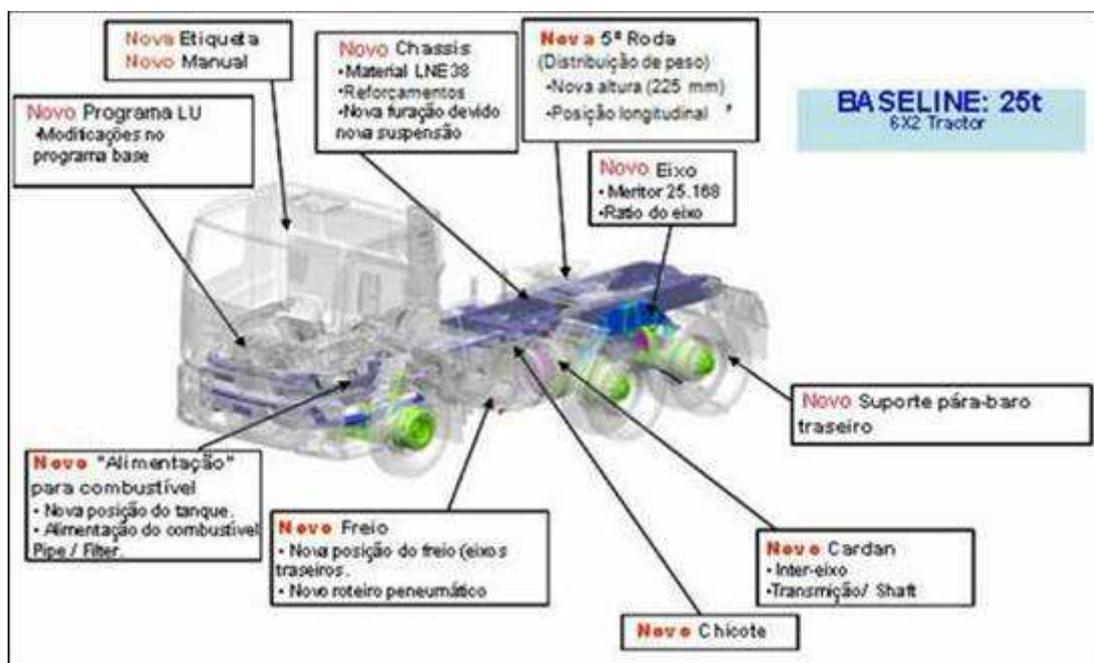
Na qual, ao serem calculados os valores em P(0), P(1) e P(2), encontra-se 72,9% + 24,9% + 2,7% = 99,9%.

Com isso, a probabilidade de acerto em cada conceito, que era de 90%, passa agora a ser de 99,9%, o que permite um ganho substancial em termos de confiabilidade no resultado esperado do desenvolvimento: considerando-se as mesmas 50 áreas que necessitassem de um novo conceito, a probabilidade de ter-se o desenvolvimento do produto sem erros passa a ser de  $0,999^{50} = 95,1206\%$ , ou seja, há uma probabilidade de menos de 5% do projeto precisar sofrer correções e redesenho, nesta situação hipotética.

Analisando o uso de múltiplos conceitos na empresa estudada, tomar-se-á uma situação de real desenvolvimento, utilizando para tal o exemplo de folha de rosto apresentado por Silva, Servilheira e Valim (2010), presente na Figura 1. O novo produto a ser desenvolvido baseia-se em plataforma existente e, visando atender necessidades específicas de determinado nicho de mercado, se mostram necessárias mudanças no motor, sua alimentação e sistema de transmissão de força (cardan, eixo, etc.), nova posição de freio, bem como novo chassi, etc. Estimou-se inicialmente um total de doze novos conceitos a serem desenvolvidos, quantidade compatível com as faixas estimadas pelos líderes de desenvolvimento, conforme abaixo:

- Baixa complexidade → 2 a 4 conceitos;
- Média complexidade → 10 a 20 conceitos; e
- Alta complexidade → 20 a 60 conceitos.

Observa-se que tais estimativas referem-se a conceitos e não número (quantidade) de componentes.



**Figura 1:** Folha de Rosto (Silva, Servilheira e Valim, 2010)

No exemplo apresentado anteriormente, as chances de sucesso multiplicaram-se 185 vezes (ou seja, passando de 0,51% para 95,1%). No entanto, é razoável considerar o esforço adicional (ainda que justificável) de gerar três diferentes conceitos para cada área, com base na afirmação de Baxter (2003) de que “deve-se estabelecer um compromisso entre os fatores

que adicionam valor ao produto e aqueles que provocam aumento de custo”. Isso poderia ser feito dividindo-se tal valor por três, caracterizando um “ganho por unidade de esforço de criação e desenvolvimento”.

Deduz-se a fórmula deste ganho:

$$G = \frac{(1 - (1 - Ta)^c)^n}{Ta^n c} \quad (2)$$

Sendo:

G → ganho pelo uso de múltiplos conceitos (por unidade de esforço);

Ta → Taxa de acerto, ou seja, de sucesso, das ideias;

c → Quantidade de ideias geradas para cada conceito;

n → Quantidade de conceitos do projeto.

Analogamente ao conceito de amplificação/ganho em acústica (BEISER, 1994), a fórmula pode ser adaptada para escala logarítmica, tornando-se então:

$$G = \frac{10 \log (1 - (1 - Ta)^c)^n}{Ta^n c} \quad (3)$$

Substituindo-se os valores hipotéticos apresentados, tem-se:

$$G = \frac{10 \log (1 - (1 - 0,9)^3)^{50}}{0,9^{50} 3} = \frac{10 \log (1 - 0,1^3)^{50}}{0,9^{50} 3} = 10 \log 61,52 = 17,89.$$

Aplicando-se a fórmula no exemplo de Silva, Servilheira e Valim (2010), tem-se: c = 3; e n = 12. Para Ta, pode-se, como aproximação inicial, utilizar as estatísticas de Baxter (2003) anteriormente citadas (vide item 2: justificativa e objetivos): “De cada dez ideias sobre novos produtos, três serão desenvolvidas, 1,3 será lançada no mercado e apenas uma será lucrativa”. A proporção de 1,3 em cada três representa uma taxa de acerto de 43,3%.

Calculando o ganho com os valores em questão, encontra-se G = 28,34, resultado bastante significativo e que respalda, dentro das premissas estabelecidas, a vantagem do desenvolvimento de múltiplos conceitos. Sendo a quantidade de ideias a serem geradas para determinado conceito, uma decisão da empresa ou do gerente responsável pelo desenvolvimento, verificou-se por meio do Solver do Excel qual seria a quantidade ótima de conceitos na situação estudada: constatou-se que sete conceitos seria a quantidade ótima, como pode ser observado nas Figuras 2 e 3 e Tabela 1.

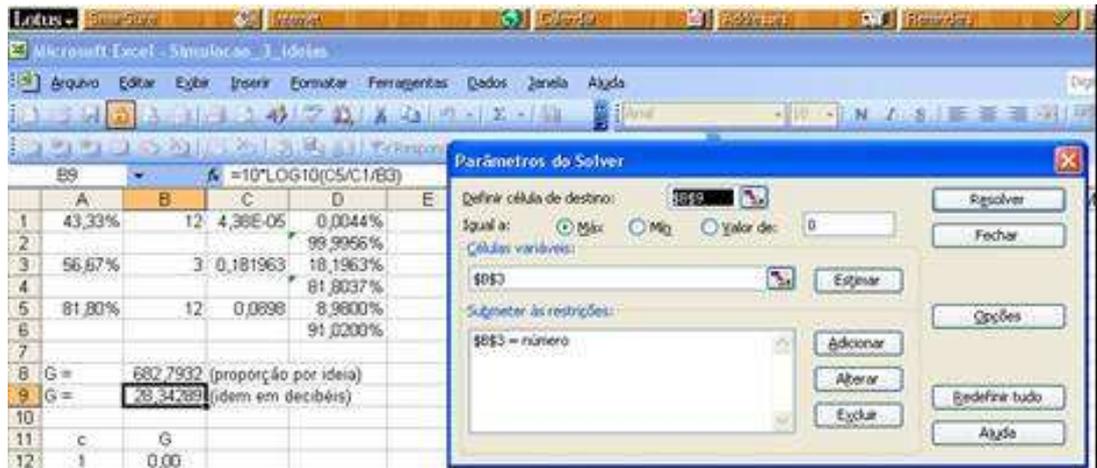


Figura 2: Cálculo com Solver

	A	B	C	D	E	F	G												
1	Microsoft Excel 11.0 Relatório de resposta																		
2	Planilha: [Simulacao_3_ideias.xls]Plan3																		
3	Relatório criado: 11/1/2011 18:11:46																		
4																			
5																			
6	Célula de destino (Máx)																		
7	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Célula</th> <th>Nome</th> <th>Valor original</th> <th>Valor final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>\$B\$9</td> <td>G =</td> <td>28,34289178</td> <td>34,14325757</td> </tr> </tbody> </table>							Célula	Nome	Valor original	Valor final	\$B\$9	G =	28,34289178	34,14325757				
Célula	Nome	Valor original	Valor final																
\$B\$9	G =	28,34289178	34,14325757																
8																			
9																			
10																			
11	Células ajustáveis																		
12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Célula</th> <th>Nome</th> <th>Valor original</th> <th>Valor final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>\$B\$3</td> <td></td> <td>3</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>							Célula	Nome	Valor original	Valor final	\$B\$3		3	7				
Célula	Nome	Valor original	Valor final																
\$B\$3		3	7																
13																			
14																			
15																			
16	Restrições																		
17	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Célula</th> <th>Nome</th> <th>Valor da célula</th> <th>Fórmula</th> <th>Status</th> <th>Transigência</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>\$B\$3</td> <td></td> <td>7</td> <td>\$B\$3=número</td> <td>Agrupar</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>							Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência	\$B\$3		7	\$B\$3=número	Agrupar	0
Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência														
\$B\$3		7	\$B\$3=número	Agrupar	0														
18																			

Figura 3: Relatório do Solver

Tabela 1: Sensibilidade de G a c

c	G
1	0,00
2	20,39
3	28,34
4	31,89
5	33,45
6	34,05
7	<b>34,14</b>
8	33,99
9	33,72
10	33,40

Tal variável sofreu relativa influência com base na quantidade de fatores (conceitos - n): com 300 fatores, o “c” ótimo foi 14. Já quanto à taxa de acerto (Ta), constatou-se que

quanto mais alta, menos atrativo se torna o desenvolvimento de múltiplos conceitos, como pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Sensibilidade de G a Ta (com  $c = 3$ )

<b>Ta</b>	<b>G</b>
10%	47,19
20%	41,72
30%	36,08
40%	30,30
50%	24,39
60%	18,40
70%	12,39
80%	6,44
90%	0,67
100%	-4,77

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente artigo explorou-se o conceito do SBCE no PDP da área automotiva: ao contrário das práticas usualmente utilizadas do desenvolvimento de conceitos em novos produtos, nos quais se busca identificar o mais cedo possível as definições, visando alcançar o mais rapidamente possível a maturidade dos conceitos, de forma a reduzir o tempo de desenvolvimento, constatou-se que o desenvolvimento de múltiplos conceitos e a postergação na decisão, ou seja, na escolha dentre as opções, ainda que não intuitivo, mostra ganhos consideráveis no sentido de gerar ganhos de produtividade no desenvolvimento dos produtos: o aumento substancial da chance de acerto permite reduções no tempo e custo de projeto, reduzindo retrabalhos e *loopings* no desenvolvimento.

As vantagens do conceito acima exposto foram simuladas matematicamente e utilizadas na situação real de desenvolvimento de um produto, ainda que tenha sido adotada uma taxa de acerto baseada em estudos generalistas (BAXTER, 2003). Foi desenvolvido um modelo matemático que permite, por meio de cálculos de otimização, estabelecer a quantidade ótima de conceitos a serem desenvolvidos para cada mecanismo ou detalhe de projeto, tendo por base as variáveis taxa de acerto e quantidade de áreas/sistemas envolvidos.

Tais achados poderão ser utilizados por qualquer organização que busque maximizar os retornos sobre investimentos feitos em desenvolvimento de novos produtos. No entanto, deverão ser melhor exploradas as premissas de cálculo, levantando as taxas históricas de acerto/erro em indústrias específicas, tornando mais robusta a análise e definição da quantidade ótima de conceitos a serem desenvolvidos. É recomendado também aprofundar as análises de custo-benefício no que tange o efeito do tempo (atrasos) nos constructos referentes ao desenvolvimento e lançamentos de novos produtos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABREU, A.; BEYNON, H.; RAMALHO, J. R. The dream factory – VW's modular production system in Resende, Brazil. *Work, Employment and Society*, Vol. 14, No 2, Cambridge, UK, June 2000.
- ABREU, A.; GITAHY, L.; RAMALHO, J. R.; RUAS, R. Industrial restructuring and inter-firm relations in the auto-parts industry in Brazil. *Occasional Papers 20*. Institute of Latin American Studies, University of London, 1999.
- ADLER, P. S.; MANDELBAUM, A.; NGUYEN, V.; SCHWERER, E. From project to process management: an empirically-based framework for analyzing product development time. *Management Science*, v.41, n.3, Mar 1995, p.458-484.
- ARAUJO JUNIOR, C. An analysis of the life-cycle of product development tools. In: II Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos, 2000, São Carlos, Anais...

- ARBIX, G.; VEIGA, J. P. C.** A distribuição de veículos sob fogo cruzado - em busca de um novo equilíbrio de poder no setor automotivo. Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. A Hora e a Vez dos Distribuidores, 2003. Disponível em <<http://fenabreve.org.br>>. Acesso em 4 setembro 2004.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B.** Managing in the age of modularity, Harvard Business Review, v.75, n.5, September-October 1997, p.84-93.
- BATTAGLIA, F.; PICCHI, F.; FERRO, J. R.** Desenvolvimento Lean de Produtos, Lean Institute Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.lean.org.br/artigos/46/desenvolvimento-lean-de-produtos.aspx>. Acesso em 11 jan. 2011.
- BAXTER, M.** Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- BEISER, A.** Theory and problems of applied physics, 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1994, 465p.
- BEYNON, H.; RAMALHO, J. R.** The transformation of the automobile sector in Brazil - a new way of producing cars? Conference Approaches to Varieties of Capitalism. CRIC, ESRC, University of Manchester, 1999.
- BHUIYAM, N.; GERWIN, D.; THOMSON, V.** Simulation of the new product development process for performance improvement. Management Science, v.50, n.12, Dec. 2004, p.1690-1703.
- CAMUFFO, A.** Rolling out a “world car”: globalization, outsourcing, and modularity in the auto industry. Department of Business Economics and Management, Ca’Foscari University of Venice, Italy, 2002.
- CARRINCAZEUX, C.; LUNG, Y.** La proximité dans l’organisation de la conception des produits de l’automobile, Actes du GERPISA, n. 19, février 1997.
- CARVALHO, R. Q.** Restructuring and globalization in the Brazilian automobile industry, GERPISA Conference, Paris, June, 1997. Anais...
- CHEN, M.; IYIGUN, M.** Generating market power via strategic product development delays. In: 2004 Econometrics Society Summer Meeting, Providence, Rhode Island, 2004.
- COLLINS, R.; BECHLER, K.; PIRES, S.** Outsourcing in the Automotive Industry: from just in time to modular consortia. European Management Journal, 1997, v. 15, n. 5, pp. 498-508.
- CORREA, H. L.** The VW Resende (Brazil) plant modular consortium SCM model after 5 years of operation. Proceedings of the International Conference of the Operations Management Society, Orlando, Fla, 2001. Disponível em <[http://www.correa.com.br/biblioteca/artigos/A06\\_Correa\\_The\\_VW\\_Resende\\_etc\\_POMS2001.pdf](http://www.correa.com.br/biblioteca/artigos/A06_Correa_The_VW_Resende_etc_POMS2001.pdf)>. Acesso em 25 dez 2008.
- CUSUMANO, M. A.; NOKEABA, K.** Strategy, structure, and performance in product development: observation for the auto industry. Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management. Working Paper 3150-90, 1990.
- DAL FORNO, A. J.; BARQUET, A. P. B.; BUSON, M. A.; FERREIRA, M. G. G.** Gestão de desenvolvimento de produtos: integrando a abordagem Lean no projeto conceitual. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas – Ano 3, nº 4, Out-Dez/2008, p. 45-58.
- DIAS, A.; SALERNO, M.** Produto mundial, engenharia brasileira: integração de subsidiárias no desenvolvimento de produtos globais na indústria automobilística. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, n.169, 2003.
- DORAN, D.; HILL, A.** A review of modular strategies and architecture within manufacturing operations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. Professional Engineering Publishing Volume 223, Number 1 / 2009, p.65-75.
- FERREIRA, K. A.; ALCANTARA, R. L. C.** Postponement: uma estrutura conceitual para sua aplicação. In: ENEGEP, 2008, Rio de Janeiro, XXVIII Encontro nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Anais...
- HOLLINS, B.; PUGH, S.** Successful product design: what to do and when. London: Butterworth & Co. Ltd, 1990.
- KLEYNER, A. V.** Determining optimal reliability targets through analysis of product validation cost and field warranty data. 2005, Dissertation (Doctor of Philosophy – Engineering). Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park. 2005.

**KRISHNAN, V.; BHATTACHARYA, S.** Technology selection and commitment in new product development: the role of uncertainty and design flexibility. *Management Science*, March 2002 v48 i3 p.313-349.

**KUBO, P. Y. Y.; SILVA, C. C.; LIMA, R. P.** Consórcio modular Volkswagen Caminhões e Ônibus: decisão estratégica de sucesso. In: III Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2006, Resende. SEGET, 2006. Anais...

**LAM, P.; CHIN, K.** Identifying and prioritizing critical success factors for conflict management in collaborative new product development. *Industrial Marketing Management*, 34, 2005, p.761-772.

**LATINI, S. A.** A implantação da indústria automobilística no Brasil - da substituição de importações ativa à globalização passiva. São Paulo: Alaúde Editorial, 2007.

**LEE, H.; SUH, H.** Estimating the duration of stochastic workflow for product development process. *International Journal of Production Economics*, Jan 2008, v.111, i1, p.105(13).

**MACCORMACK, A.; VERGANTI, R.; IANSITI, M.** Developing products on “Internet time”: the anatomy of a flexible development process. *Management Science*, Evanston, Jan 2001 v47 i1 p.133-152.

**MARX, R.; ZILBOVICIUS, M.; SALERNO, M. S.** The “modular consortium” in a new VW truck plant in Brazil: new forms of assembler and suppliers relationship, *Integrated Manufacturing Systems*, v.8, n.5, p.292-8, 1997.

**MILLER, L.** Concurrent engineering design – integrating the best practices for process improvement. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1993.

**MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.** Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros, 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 496p.

**MUNIZ JÚNIOR, J.** Qualidade. In: Muniz Junior, J. (Org.). *Administração da Produção*. Curitiba: IESDE, 2010.

**OLIVEIRA, U. R.; MARINS, F. A. S.; ROCHA, H. M.** Estratégia de coopetição versus competências essenciais e prioridades competitivas em gestão de operações: análise do consórcio modular da Volkswagen Caminhões e Ônibus do Brasil. In: ENEGEP, 2006, Fortaleza. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006. Anais...

**OLIVEIRA, U. R.; ROCHA, H. M.** O Consórcio modular versus competências essenciais na gestão de operações: um estudo comparativo na Volkswagen Caminhões do Brasil. In: II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2005, Resende. SEGET, 2005. Anais...

**PDPNET Knowledge Network.** Set-Based Concurrent Engineering (SBCE). Portal de Conhecimentos, Instituto de Gestão de Desenvolvimento de Produtos (NUMA / USP), 2009. Disponível em <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/9636>>. Acesso em 11 jan. 2011.

**PIRES, S.** Managerial implications of the modular consortium model in a Brazilian automotive plant, *International Journal of Operations & Production Management*, 1998, v.18, i.3, pp 221–232.

**RESENDE, A. P.; COSTA, F. W. A.; RUTKOWSKI, J.; CARVALHO, L. J. L.; ALMEIDA, R. J. S.; SILVA, W.** Consórcio Modular: o novo paradigma do modelo de produção. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP, Curitiba, 23 a 25 out 2002, Anais...

**ROCHA, H. M.** Fatores críticos de sucesso do start up de veículos e a qualidade (CMMI) do desenvolvimento de produtos no Sul fluminense. 2005, 353f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

\_\_\_\_\_. Fatores Críticos de Sucesso no Processo de Desenvolvimento de Produtos. 2009, 272f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2009.

\_\_\_\_\_. Estudo de processos de desenvolvimento de produtos. Relatório de projeto de pesquisa pós-doutorado (Processo 1033/18/01/2009-FE/G). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011, 57p.

**ROCHA, H. M.; DELAMARO, M. C.** Product development process: using real options for assessment and to support the decision-making at decision gates. In: Geilson Loureiro; Richard Curran. (Org.). *Complex Systems Concurrent Engineering - collaboration, technology innovation and sustainability*. London: Springer-Verlag, 2007, v. XXVIII, p. 96-103.

- \_\_\_\_\_. Project/product development process critical success factors: literature compilation and analysis. In: XIV Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI 2011, São Paulo. No prelo.
- ROCHA, H. M.; DELAMARO, M. C.; QUINTELLA, H. L. M. M.** Estudo Bibliométrico dos Fatores Críticos de Sucesso nos Processos de Desenvolvimento de Produtos. In: ENEGEP, 2010, São Carlos. ENEGEP 2010a.
- ROCHA, H. M.; DELAMARO, M. C.; QUINTELLA, H. L. M. M.; AFFONSO, L. M. F.** Fatores críticos de sucesso no processo de desenvolvimento de produtos na indústria automotiva Sul-Fluminense. In: VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2010, Resende. VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende : AEDB, 2010b.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. C.** Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006, 542 p.
- SALERNO M. S.; DIAS A.V.C.; ZILBOVICIUS M.** Industrial Condominiums and Modular Consortiums: criteria for global sourcing or suppliers proximity in the new auto plants in Brazil, In: VI International EUROMA (European Operations Management Association) Conference, Proceedings, Venice, p.295-302, 1999.
- SALERNO, M. S.; CAMARGO, O. S.; LEMOS, M. B.** Modularity ten years after: an evaluation of the Brazilian experience. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 2008 - Vol. 8, n.4, pp. 373 – 381.
- SALERNO, M.; ZILBOVICIUS, M.** L'usine VW à Resende a été inauguré / VW plant at Resende inaugurated, *La Lettre du GERPISA*, Paris, n.109, p.13-4, jan. 1997.
- SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P. A. C.** Key success factors on new product development: a preliminary investigation on the cooperation model at an automotive company. In: ENEGEP, 2008, Rio de Janeiro, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Anais...
- SENANAYAKE, M.; LITTLE, T.** Measures for new product development. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, v. 1, n. 3, p. 1-14, May 2001.
- SILVA, L. R.; SERVILLEIRA, L. G. G. D.; VALIM, R. L.** Identificação de melhorias no processo de desenvolvimento do produto da empresa MAN Latin America com foco no desenvolvimento de ônibus. 2010, 82p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção), Faculdade de Engenharia de Resende, Resende, 2010.
- TAKEUCHI, H.; NONAKA, I.** The new product development game. *Harvard Business Review*, Jan-Feb 1986, p.1-11.
- TESCH, D.; KLOPPENBORG, T.; STEMMER, J.** Project management learning: what the literature has to say. *Project Management Journal*, v.34, i.4, p.33-39, Dec 2003.
- VAN KLEEF, E.** Consumer research in the early stages of the new product development – issues and applications in the food domain. 2006, 184f. Tese (Doutorado em Alimentação, Saúde e Biotecnologia Agrícola). Wageningen Universiteit, Netherlands, 2006.
- WARD, A.** O sistema de desenvolvimento enxuto. Lean Enterprise Institute, Apostila do curso Lean Development, 2002.
- ZACHARIA, Z. G.; MENTZER, J. T.** The role of logistics in new product development. *Journal of Business Logistics*, v.28, n.1, 2007, p.83-110.