



Exacta

ISSN: 1678-5428

exacta@uninove.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Falcão Sobral, Marcos Felipe

Uso da modelagem multicritério para apoio ao decisior na alocação de produtos na matriz  
mercadológica do ciclo de vida dos produtos

Exacta, vol. 11, núm. 2, 2013, pp. 173-186

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81029238005>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Uso da modelagem multicritério para apoio ao decisior na alocação de produtos na matriz mercadológica do ciclo de vida dos produtos

## *Multicriteria model to help decision-makers allocate products in the life cycle matrix*

**Marcos Felipe Falcão Sobral**  
Doutor em Engenharia de Produção e Professor Adjunto do  
Departamento de Administração da Universidade Federal  
Rural de Pernambuco – UFRPE.  
Recife, PE [Brasil]  
marcos\_sobral@bol.com.br

## Resumo

A correta alocação de produtos na matriz de ciclo de vida é de fundamental importância para as estratégias mercadológicas, operacionais e logísticas das organizações. Entretanto, os procedimentos de classificação dos produtos, muitas vezes, envolvem múltiplos critérios, que podem ser conflitantes entre si e que precisam ser ponderados no momento da decisão. Isto torna a tarefa de classificação delicada e complexa. Em face do exposto, neste trabalho, propõe-se o uso do método de apoio multicritério – a decisão ELECTRE TRI – como suporte no processo de alocação do portfólio de produtos na matriz de ciclo de vida. Desde sua concepção, o ELECTRE TRI tem sido aplicado com sucesso em diversos contextos empresariais, apresentando soluções estáveis adequadas ao problema. Seu uso na alocação de produtos na matriz de ciclo de vida proporcionará uma metodologia estruturada para a realização dessa tarefa, apoiando as empresas na análise e formação das estratégias empresariais.

**Palavras-chave:** Apoio multicritério a decisão. Ciclo de vida dos produtos. ELECTRE TRI.

## Abstract

The appropriate allocation of products in the life-cycle matrix is critical for marketing, operational and logistical strategies. However, the procedure for classification of products often involves multiple criteria, which may conflict with each other. Furthermore, they need to be weighed in decision making. This makes the sorting task very delicate and complex. In view of this, in this paper we propose using the multi-criteria decision method, ELECTRE TRI, as support in the allocation process of the product portfolio in the life-cycle matrix. Since its conception, ELECTRE TRI has been successfully used in several business contexts, providing stable solutions. Its use to allocate products in the life-cycle matrix will provide a structured methodology to handle this task, supporting companies in their business analysis and strategy development.

**Key words:** ELECTRE TRI. Multicriteria decision aid. Product life-cycle.



## 1 Introdução

A administração estratégica conquistou grande espaço no cenário atual das organizações diante do acirramento concorrencial dos mercados. É sabido que estar em sintonia com as mudanças externas se tornou essencial para a sobrevivência e o sucesso das corporações.

Diversas ferramentas têm sido aplicadas para aumentar o nível de resposta das empresas em relação às mudanças ambientais. Dentre elas, pode-se assinalar a análise do ciclo de vida dos produtos, a matriz do Boston Consulting Group (ARMSTRONG; BRODIE, 1994), e a matriz *strengths, weaknesses, opportunities, threats* – SWOT (MENON et al., 1999). Estas metodologias podem oferecer um conjunto de informações que serão essenciais para o desenho das estratégias organizacionais e o dimensionamento dos recursos produtivos. Diversas ações estratégicas, encontradas na literatura, são concebidas em função da classificação dos produtos na matriz de ciclo de vida, destacando-se: a definição de parâmetros logísticos (PASQUAL; PEDROZO, 2007), a análise de prioridades competitivas (SANTOS, PIRES; GONÇALVES, 1999) e a análise da gestão sustentável da cadeia de suprimentos (BRITO; BERNARDI, 2010).

Notoriamente, existe uma grande dificuldade, por parte dos estrategistas corporativos, em considerar corretamente todos os fatores envolvidos no processo de classificação dos produtos, na matriz ciclo de vida. Além disso, a classificação do portfólio de produtos em cada um dos estágios desse ciclo possui diversas implicações estratégicas, mercadológicas e financeiras, fazendo com que decisões dessa natureza sejam tomadas em um ambiente crítico e de alto risco. Em contrapartida, o correto posicionamento do portfólio de uma organização pode contribuir de forma determinante para o sucesso das ações estratégicas de uma empresa.

O processo de alocação desses produtos na matriz de ciclo de vida nem sempre é uma tarefa simples e objetiva, pois, muitas vezes, o decisor se depara com um conjunto de critérios que possuem diferentes níveis de avaliação e precisam ser ponderados no momento da decisão. Ao longo dos últimos anos, métodos que trabalham com múltiplos critérios foram propostos para tratamento da problemática de classificação, oferecendo ao decisor um conjunto de ferramentas que podem apoiá-lo no processo de classificação das alternativas. Dentre eles, destaca-se o Elimination and Choice Translating Algorithm – ELECTRE TRI (YU, 1992), que é uma metodologia de apoio multicritério à decisão, derivada da escolha francesa de apoio à decisão, e que tem apresentado diversos resultados promissores em aplicações em contextos reais.

Ao trabalhar com métodos multicritério para a alocação de produtos nos quadrantes das matrizes de ciclo de vida, as organizações podem obter, por meio do modelo proposto, alocações que ponderem, de forma mais consciente, todos os critérios envolvidos na decisão. Considerando os cenários atuais, em que os gestores precisam lidar com múltiplas variáveis, a tarefa de considerar todas as variáveis do problema ao mesmo tempo torna-se extremamente complexa.

Dessa forma, o objetivo neste trabalho é propor o uso da modelagem multicritério, com a utilização do ELECTRE TRI, apoiando-se no processo de classificação de produtos da matriz de ciclo de vida. Ao adotar este modelo para apoio no posicionamento do ciclo de vida, será possível aplicar estratégias de ação corretas para cada estágio, já que os resultados refletem as preferências do decisor. Isso também se traduzirá em uma nova ferramenta para a condução, de forma estruturada, da avaliação do ciclo de vida dos produtos.

Inicialmente, será feita uma breve revisão sobre o ciclo de vida dos produtos, bem como a

respeito das estratégias que podem ser adotadas em cada quadrante. Em seguida, será comentado o processo de posicionamento do produto e as repercussões dessas ações sobre os recursos produtivos e mercadológicos. Na sessão seguinte, será descrito o apoio multicritério à decisão e o método proposto acompanhado de um exemplo numérico. Ao final, seguem as conclusões, limitações e sugestões para futuros trabalhos.

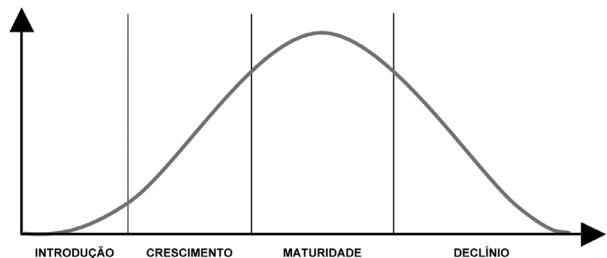
## 2 Ciclo de vida dos produtos

A maioria dos produtos lançados no mercado está sujeita a estágios temporais que traduzem o seu desempenho mercadológico. Uma classificação comumente encontrada na literatura é o Ciclo de Vida dos Produtos (CVP). Segundo Kotler (1998), esse ciclo é utilizado para interpretar as dinâmicas do produto e do mercado.

O estudo do ciclo de vida do produto apresenta diversas aplicações práticas. O CVP já foi usado para modelar os efeitos de despesas de promoção de vendas de produtos farmacêuticos (WIERINGA; LEEFLANG, 2013), foi abordado no contexto das pequenas e médias empresas (ANTONELLI; CHIABERT; VILLA, 2012), analisado sob a ótica da produção de metanol (LI; YANG; QIAN, 2012), como apoio para estratégias da cadeia de suprimentos (AITKEN; CHILDERHOUSE; TOWILL, 2003), na seleção de parceiros na cadeia de suprimentos (CHANG; WANG; WANG, 2006), na previsão de demanda (CHIEN; CHEN; PENG, 2010) e como referência para criação de valor no contexto de ativos intangíveis (KAYO; KIMURA et al., 2006), além de ser usado como análise adicional para verificação da capacitação no setor automotivo (CONSONI; CARVALHO, 2002).

Existem estágios, pelos quais o produto passa ao longo de sua permanência no mercado, que

podem ou não seguir em sequência. São eles: introdução no mercado, crescimento, maturidade e declínio de mercado (LEVITT, 2006). Uma distribuição clássica do ciclo de vida pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1: Formato clássico do gráfico do ciclo de vida do produto**

A introdução no mercado é caracterizada pelo baixo nível de vendas, altos custos e baixa concorrência. Os autores Wright, Kroll e Parnell (2000) afirmam que a demanda do consumidor para os resultados do setor é reduzida nessa época, porque muitos potenciais compradores ainda não conhecem o produto ou serviço, isto é, virtualmente eles estão adquirindo um ou outro pela primeira vez.

O estágio de crescimento é marcado por uma rápida expansão nas vendas. Segundo Kotler (1998), nessa fase, novos concorrentes estão ingressando no mercado, além disso, são introduzidas novas características nos produtos, e expandidos os canais de distribuição. Os preços permanecem constantes ou declinam lentamente e, por meio da curva de aprendizagem, os custos unitários caem, proporcionando uma melhor rentabilidade.

Na maturidade, existe uma estabilização nas vendas, já que a maioria dos consumidores possui o produto, e as compras se limitam a reposição. O crescimento do setor pode ser baixo, acompanhando o aumento populacional, negativo ou inexistente. A lentidão da taxa de crescimento começa a gerar excesso de produção no setor

industrial, causando uma intensa concorrência (KOTLER, 1998). Haverá tentativas de criar e promover distinções por meio de publicidade e embalagens (LEVITT, 2006). Essa fase pode passar rapidamente, como no caso de moda feminina, ou persistir por gerações, sem que exista um declínio (LEVITT, 2006).

No declínio, as vendas podem ser reduzidas tanto de forma lenta quanto rápida. Muitas vezes, os consumidores se voltam para produtos ou serviços substitutos. Estes substitutos possuem características superiores, custos menores, maiores conveniências, ou trabalham com uma tecnologia superior (WRIGHT; KROLL; PARNELL, 2000). É possível adotar estratégias para aumentar o tempo de vida de um produto no mercado ou para desinvestir nesse produto a fim de retirá-lo do mercado com a máxima exploração da demanda remanescente.

Existe uma importante distinção entre ciclo de vida dos produtos e ciclo de produção. Segundo Almeida e Toledo (1991) o ciclo de produção diz respeito à sequência de atividades desempenhadas pelas empresas para obtenção do produto. Essas atividades podem ser agrupadas nas seguintes quatro grandes etapas, que compõem o ciclo de produção: desenvolvimento do produto, desenvolvimento do processo, produção propriamente dita, comercialização e atividades pós-venda.

## 2.1 Estratégias adotadas em cada nível do ciclo de vida dos produtos

Cada estágio do CVP possui características distintas. Dessa forma, é preciso que toda a estratégia mercadológica e produtiva seja adaptada à classe do produto no CVP. A posição do produto em cada nível desse ciclo interfere em vários pontos da cadeia produtiva, forçando as organizações a adaptarem seus recursos e estratégias para cada

caso específico, como forma de aumentar os resultados do produto.

Para o estágio de introdução, Kotler (1998) afirma que as organizações podem adotar as seguintes estratégias: desnaturamento rápido, em que um produto é lançado com um preço alto, visando ao maior lucro unitário possível, apoiados por altos gastos em promoção de vendas; desnaturamento lento, que consiste no lançamento de um produto a um preço alto, mas com pouca promoção; penetração rápida, traduzindo-se por um lançamento a preço baixo e alta promoção de vendas e, por fim, penetração lenta, em que o produto é lançado com preço baixo e baixa promoção de venda.

No estágio de crescimento, as organizações podem lançar mão de várias estratégias visando a sustentar o crescimento do mercado, como melhoria na qualidade do produto, lançamento de novos modelos e produtos de flanco e redução de preço, para atrair outras faixas de compradores (KOTLER, 1998; LEVITT, 1996). Já para o estágio de maturidade, são praticadas ações, tais como modificação do mercado, do produto e do composto de marketing. No declínio, as empresas podem identificar os produtos fracos, ou abandonar sua exploração comercial, ou ainda, trabalhar sobre estratégias de reestilização.

Um modelo amplamente empregado para definir as estratégias em cada fase do CVP é a matriz de crescimento-participação, que foi desenvolvida em 1967 pelo Boston Consulting Group (BCG). Nessa tabela, a taxa de crescimento do mercado é indicada no eixo vertical; e a participação de mercado, no horizontal. A matriz é dividida em quatro quadrantes, a saber: oportunidade, considerados com grande possibilidade de crescer, mas baixa participação de mercado; estrelas, os que possuem um alto crescimento e uma alta participação de mercado; geradores de caixa, negócios que estão situados em um segmento com grande participação, mas baixo potencial de crescimento e, final-

mente, os “abacaxis” que têm pouca participação e pouco crescimento.

A matriz BCG, quando sobreposta ao gráfico de ciclo de vida dos produtos, apresenta as seguintes associações: oportunidade similar à fase de introdução no mercado; estrelas semelhantes aos produtos em fase de crescimento; geradores de caixa muito parecidos aos estágios de maturidade e os “abacaxis” similares aos produtos que estão em declínio.

### 3 Apoio multicritério à decisão

Apoio à decisão é a atividade da pessoa que, pela utilização de modelos de forma explícita, mas não necessariamente formalizados por completo, auxilia na obtenção de elementos que respondam às questões expostas por um *stakeholder (decisor)* em um processo decisório. Esses elementos trabalham para clarificar a decisão e, usualmente, conduzi-la a uma recomendação (ROY, 1996).

Problemas de decisão de acordo com a sua natureza, a política do decisor e o objetivo total de decisão podem requerer uma solução por meio da escolha de uma alternativa; do ordenamento de alternativas, das melhores para as piores, ou da alocação de alternativas dentro de classes homogêneas. O processo de alocação é conhecido como problemas de classificação que são encontrados em diversos segmentos (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2002).

Desta forma, um problema de decisão multicritério é a situação em que, sendo definidos um conjunto de ações A e uma família de critérios F, deseja-se: determinar um subconjunto de ações consideradas as melhores em relação à F; dividir A em subconjuntos, de acordo com algumas normas e ordenar as ações de A da melhor para a pior

ação (VINCKE, 1992). Roy (1996) categoriza as problemáticas da seguinte forma:

- a) Problemática de escolha ( $P.\alpha$ ) – apresenta um problema em termos de escolha de uma melhor ação, isto é, orienta a investigação no sentido de encontrar um subconjunto A' de A, tão pequeno quanto possível.
- b) Problemática de classificação ( $P.\beta$ ) – aloca as ações em categorias que são definidas em função do valor intrínseco de cada ação.
- c) Problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ) – consiste na atribuição de um *ranking* (“posição”) para cada ação em um subconjunto A' contido em A.
- d) Problemática de descrição ( $P.\delta$ ) – descreve as ações do conjunto A e suas consequências.

Segundo Almeida e Costa (2003), o apoio multicritério à decisão tem como princípio buscar o estabelecimento de uma relação de preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios no processo de decisão. Para Malczewski (1999), os problemas multicritério envolvem seis componentes, quais sejam: objetivos, decisor ou decisores, conjunto de critérios de decisão, conjunto de alternativas, conjunto de estado da natureza e consequência das decisões.

Dois grandes segmentos de estudos voltados para a decisão multicritério podem ser observados. O primeiro derivado da escola americana, e apoiado em uma sólida estrutura axiomática, agrupa os critérios em uma função-síntese, estabelecendo uma compensação entre estes, como é o caso da Teoria da Utilidade Multiatributo.

O segundo grupo, proveniente da escola francesa, separa as alternativas critério a critério, explorando os conceitos de dominância e eficiência, como é o caso dos métodos de sobreclassificação. Roy (1996) define a relação de sobreclassificação

como uma relação binária  $S$  definida em  $A$  tal que  $aSb$  e que, considerando a natureza do problema, as preferências do decisão e a qualidade da valoração das ações, pode-se afirmar que a alternativa  $a$  é, pelo menos, tão boa quanto a  $b$ , não existindo razões claras para afirmar-se o contrário. Os primeiros métodos de sobreclassificação foram o método da família ELECTRE, proposto inicialmente por Roy, em 1968, e, em seguida, o da família Preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE), apresentado por Brans, em 1984.

Uma das principais características introduzidas pelos métodos da família ELECTRE corresponde a um novo conceito do modelo de preferências, que pretende ser uma representação mais realista que o utilizado na teoria da decisão (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

Caso um agente de decisão expresse sua preferência entre duas alternativas potenciais (soluções admissíveis, possíveis decisões), é fácil notar que não se pode garantir, necessariamente, que as informações do agente sobre essas alternativas sejam precisas, completas e exaustivas, embora ele saiba das suas possíveis consequências. A teoria da decisão clássica fornece basicamente duas situações de preferências, supostamente transitivas, designadas por preferência estrita ( $P$ ) e por indiferença ( $I$ ). Em outras palavras, essa teoria baseia-se no axioma da comparabilidade completa e transitividade entre as alternativas. Há várias razões pelas quais os pesquisadores que modelam as preferências tentam evitar o dilema da indiferença e da preferência estrita na comparação de duas alternativas  $a$  e  $b$  (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

Nos métodos de sobreclassificação existe a incorporação da preferência fraca e da incomparabilidade. A preferência fraca pode ocorrer quando o decisão não se sente confortável ou não possui informações suficientes para afirmar

que a alternativa  $a$  é estritamente preferível à  $b$ , mas também não pode afirmar a indiferença entre as duas ações. Já a relação de incomparabilidade oferece ao decisão a possibilidade de não comparar alternativas por falta de informação, evitando, assim, que seja emitida uma opinião equivocada.

Outra característica da escola francesa está no fato de que seus métodos não são compensatórios, o que favorece soluções cujo desempenho das alternativas seja desbalanceado. O uso de metodologias de sobreclassificação, em lugar da teoria da utilidade, reside no fato de que, muitas vezes, existem dificuldades no estabelecimento de uma função utilidade que atenda a todos os pressupostos dessa teoria. Sobre os métodos da escola francesa foram criados um conjunto de derivações que variam em função da problemática, dos parâmetros a serem utilizados, dos tipos de critérios ou do número de decisões.

### 3.1 Escolha do método

Para Almeida e Costa (2003), a escolha do método depende de vários fatores, destacando-se as características do problema analisado, do contexto considerado, da estrutura de preferências do decisão e da problemática. A estrutura de preferências do decisão é particularmente importante e pode ser o fator preponderante na seleção do método. Aspectos de simplicidade e facilidade de aplicação podem ser requeridos, dependendo do contexto, para solucionar um determinado problema (ALMEIDA; COSTA, 2003).

Um fator que também deve ser observado são as informações intercritérios. O aspecto de compensação sugere uma quantidade que contrabalanceie a desvantagem de um critério em relação à vantagem de outro. Desta forma, o uso de métodos compensatórios, como a teoria da utilidade multiatributo, favorece ações bem balanceadas e apresentam um melhor desempenho médio. Já os não compensa-

tórios (como o caso do ELECTRE) são indicados para ações que não sejam balanceadas.

Um ponto que frequentemente surge é a preferência do analista por um método em particular. Muitas vezes, essa preferência traduz-se numa grave distorção, sendo definitiva na escolha do método para analisar o problema. Isto pode ocorrer por uma questão de preferência apenas ou em função da pouca familiaridade com outros métodos, que poderiam ser mais apropriados a um dado problema em questão (ALMEIDA; COSTA, 2003).

## 4 Método ELECTRE-TRI

Os métodos da família ELECTRE (Elimination and Choice Translating Algorithm) foram desenvolvidos por Bernard Roy e associados, na University of Paris Dauphine, sendo subdivididos em ELECTRE I, II, III, IV e TRI (ROY, 1996). O ELECTRE TRI é um método francês de sobreclassificação da família ELECTRE, que foi proposto inicialmente por Yu (1992). Estes métodos fundamentam-se na construção de uma relação de sobreclassificação, que contempla as preferências estabelecidas pelo decisor em face das alternativas e critérios existentes (SZAJUBOK; MOTA; ALMEIDA, 2006; ROY, 1996).

O ELECTRE TRI possui diversas aplicações em contextos empresariais. Destaca-se seu uso na área educacional (MIRANDA; ALMEIDA, 2003), na análise de risco em gasodutos (BRITO; ALMEIDA; MOTA, 2009), em distribuidoras de derivados de petróleo (SOBRAL; COSTA; ALMEIDA-FILHO, 2010), no planejamento de irrigações (RAJU; DUCKSTEIN; ARONDEL, 2000), na redução de gases do efeito estufa do setor energético (GEORGOPOLOU et al., 2003) e na avaliação de satisfação dos consumidores (COSTA et al., 2007).

Desde a concepção inicial por Yu (1992), o ELECTRE TRI foi aprimorado para diversas circunstâncias, dotando o procedimento de melhorias capazes de refinar seus resultados ou ampliar sua utilização, mas conservando sempre seu foco no tratamento da problemática *P.β*. Em especial, podem-se destacar as versões ELECTRE TRI-C (ALMEIDA-DIAS; FIGUEIRA; ROY, 2010), ELECTRE TRI-NC (ALMEIDA-DIAS; FIGUEIRA; ROY, 2011) e o ELECTRE TRI-NG (SOBRAL; COSTA, 2012).

O método ELECTRE TRI é destinado a problemas cuja problemática seja de classificação. Desta forma, ele permite que as alternativas sejam alocadas em classes, considerando os critérios relevantes do problema, à luz do decisor. Segundo Belton e Stewart (2002), o procedimento original foi concebido para alocar a alternativa em uma das três alternativas: aceitável, não aceitável ou indeterminada. O método foi então estendido para utilização em problemas de classificação com mais de três diferentes categorias.

Formalmente, o objetivo do ELECTRE TRI é alocar um conjunto discreto de alternativas  $A = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  dentro de  $q$  grupos ou classes  $C_1, C_2, \dots, C_q$ . Cada alternativa  $x_j$  está considerada como um vetor  $q_j = \{g_{j1}, g_{j2}, \dots, g_{jn}\}$ , consistindo no desempenho da alternativa  $x_j$  sobre o conjunto de critérios avaliados  $g$ .

Em oposição aos procedimentos clássicos baseados na soma de pesos (que apresenta a possibilidade de compensação), o ELECTRE TRI oferece um processo de comparação entre as referências, sem que o forte desempenho em um critério obscureça o fraco desempenho em outro.

O método ELECTRE TRI trabalha por meio da comparação de cada alternativa potencial com uma referência estável padrão, também chamada de alternativa de referência (SZAJUBOK; MOTA; ALMEIDA, 2006). O ELECTRE TRI trata de problemas que são modelados por uma família de

pseudocritérios, no qual os limiares de preferência  $p_j(b_h)$  e indiferença  $q_j(b_h)$  constituem as informações intracritério. Assim,  $q_j(b_h)$  especifica a maior diferença  $g_j(a) - g_j(b_h)$ , que preserva a indiferença entre  $a$  e  $b_h$  no critério  $g_j$ . Já  $p_j(b_h)$  representa a menor diferença  $g_j(a) - g_j(b_h)$ , compatível com uma preferência de  $a$  no critério  $g_j$ .

Mosseau, Slowinski e Zielniewicz (1999) sugerem que a relação de sobreclassificação pode ser construída a partir dos seguintes passos:

- Computar o índice parcial de concordância e  $c_j(a, b_h)$  e  $c_j(b_h, a)$ .
- Computar o índice total de concordância  $C_j(a, b_h)$ .
- Computar o índice parcial de discordância  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$ .
- Computar a relação de sobreclassificação fuzzy, firmada sobre o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ . Os índices de concordância parcial  $c_j(a, b)$ , concordância total  $C(a, b)$  e discordância parcial  $d_j(a, b)$  são calculados pelas equações a seguir:

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 0 \text{ if } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 \text{ if } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \quad n.c \end{cases} \quad (1)$$

$$c(a, b) = \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j} \quad (2)$$

$$d_j(a, b) = \begin{cases} 0 \text{ if } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1 \text{ if } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} \quad n.c \end{cases} \quad (3)$$

O índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  permite avaliar a superação do perfil  $b_h$  em relação à alternativa  $a$ . Então,  $\sigma(a, b_h) \in [0, 1]$  e  $aSB_h$  são considerados válidos se  $\sigma(a, b_h) \geq l$ , em que o  $\lambda$ -cut esteja situado no intervalo entre 0,5 e 1. Este índice é encontrado em função da concordância e da discordância entre os pares de alternativas, sendo calculado como segue (SZAJUBOK; MOTA; ALMEIDA, 2006):

$$\sigma(a, b_h) = C(a, b_h) \prod_{j \in F} \frac{1 - d(a, b_h)}{1 - C(a, b_h)},$$

onde

$$F = \{j \in F : d_j(a, b_h) > C(a, b_h)\}$$

(3)

As categorias podem ser delimitadas segundo as preferências do decisão. Isto proporciona uma grande flexibilidade na modelagem de diversos problemas, permitindo que as classes sejam delimitadas em sintonia com o problema proposto. Na Figura 2, é demonstrada uma representação das categorias usando perfis de referência.

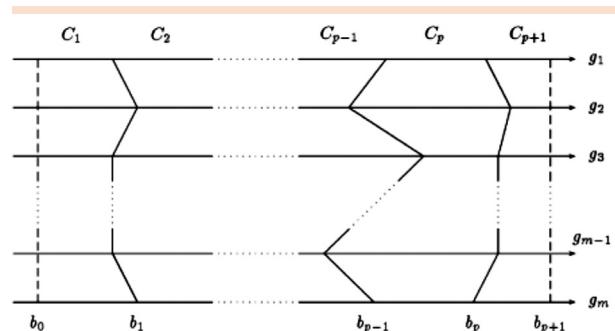


Figura 2: Definição das categorias usando perfis de referência

Fonte: Mosseau, Slowinski e Zielniewicz (1999).

O  $\lambda$ -cut é o menor valor do grau de credibilidade  $\sigma(a, b_b)$ , o qual permite afirmar que  $a$  supera  $b$ . Para os valores de  $\lambda$  mais elevados, os quais caracterizam as decisões em que se procuram minimizar as diferentes incertezas, a ocorrência da relação de incomparabilidade entre as alternativas poderia ser mais frequente, mantendo-se inalteradas todas as outras condições do problema. Do mesmo modo, caso escolha-se um valor mais reduzido de  $\lambda$  em que a exigência seja menor, com relação às incertezas, poderia aumentar-se a frequência das relações de indiferença (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

O procedimento de cálculo de  $\sigma_s(a, b_b)$  e de  $\sigma_s(b_b, a)$  repete-se para cada alternativa de referência  $b_b$ . O número de relações de preferência entre  $a$  e  $b_b$  corresponde, assim, ao de alternativas de referência. Deve-se passar, então, ao procedimento de alocação da alternativa  $a$  em uma das categorias  $C_q$  predefinidas (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004). Tal procedimento, conforme previsto no ELECTRE TRI se divide em dois: pessimista e otimista.

Esses dois tipos de resultados consideram uma classificação mais conservadora (nível pessimista) e mais arrojada (nível otimista). A comparação entre ambos serve como medida de robustez do método. Quando os dois resultados se igualam é possível afirmar que a classificação ocorreu de forma mais consistente.

## 5 O posicionamento de produtos na matriz de ciclo de vida usando o ELECTRE-TRI

Frequentemente é difícil identificar onde começa e termina cada estágio do ciclo de vida dos produtos. No geral, os estágios são caracterizados pelas posições em que as taxas de crescimento ou o declínio de vendas se tornam pronunciados.

Todavia, as empresas devem checar a sequência normal dos estágios de seus setores industriais e a duração média de cada caso (KOTLER, 1998).

O correto posicionamento do produto na matriz de ciclo de vida é uma tarefa essencial para a determinação da estratégia a ser implantada. Além disso, todo o planejamento produtivo é influenciado pelo estágio em que o produto está aloocado. Este posicionamento interfere inclusive nos sistemas produtivos da empresa. Slack, Chamblers e Johnson (2002) afirmam que uma forma de generalizar o comportamento dos clientes e dos correntes é associá-los com o ciclo de vida dos produtos ou serviços que a operação está produzindo. A implicação importante disso para a administração da produção é que os produtos e serviços exigirão estratégias de produção para cada estágio de seu ciclo de vida. No caso do modelo proposto, será possível definir, pelos limites e parâmetros do método, onde seria cada uma dessas classes, critério a critério.

Para utilização do ELECTRE TRI no processo de classificação de produtos na matriz de ciclo de vida, será necessário o processamento das seguintes etapas:

- a) Especificar os critérios: definir quais os critérios que deverão ser considerados. Devem-se considerar aspectos relativos ao macroambiente (forças político-legais, econômicas, sociais, tecnológicas e econômicas), ambiente setorial (entrantes em potencial, fornecedores, substitutos e compradores) e o ambiente interno da organização.
- b) Especificar a escala de julgamento para os pesos dos critérios e atribuir estes pesos: definir a importância de cada critério em relação ao produto.
- c) Identificar as classes de equivalência.
- d) Estabelecer os limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e voto ( $v$ ) para cada critério.

- e) Emitir os julgamentos sobre cada critério e aplicar o algoritmo do ELECTRE TRI.
- f) Realizar uma análise de robustez por meio da variação dos parâmetros, bem como a comparação entre os resultados otimista e pessimista.

## 5.1 Exemplo numérico

Considerando uma empresa que esteja diante do processo de identificação da posição de dez produtos na matriz de ciclo de vida, serão identificados os produtos como alternativas a ser classificadas pelo ELECTRE TRI, as quais serão representadas por  $\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}\}$ . Como o método trabalha sobre um conjunto de classes ordenadas, será preciso determinar a realização da transposição das classes da matriz CVP sobre as categorias do ELECTRE TRI. Este processo é demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1: Descrição das categorias**

Nível de importância	Categoria antiga	Nova categoria
1	Introdução no mercado	Classe 1
2	Crescimento	Classe 2
3	Maturidade	Classe 3
4	Declínio	Classe 4

É importante observar que, dependendo do foco estratégico da empresa, será possível estabelecer outros níveis de importância para cada caso. Neste exemplo, serão observadas empresas que possuem um foco mais acentuado na inovação e no lançamento de novos produtos, por isso será priorizada a classe de introdução no mercado.

Para que o algoritmo seja trabalhado é necessária a definição dos critérios, considerados pelo decisão como relevantes no processo. Estes critérios são os eixos de avaliação que servirão de base para analisar o comportamento de cada alternativa. A empresa pode utilizar quantos critérios

achar necessário para o julgamento de suas alternativas. Para o exemplo proposto, serão usados os seguintes critérios:

- a) **Tempo de mercado:** indica o tempo em que o produto já se encontra no mercado.
- b) **Demanda:** mostra o nível de crescimento da demanda bem como as suas projeções em curto prazo. É um importante indicador, uma vez que a demanda possui relação com a participação de mercado do produto.
- c) **Investimentos estruturais:** produtos nos primeiros estágios normalmente demandam altos investimentos iniciais, enquanto aqueles em declínio estão em estratégias de desinvestimento. Esta informação é um indicador imprescindível da posição do produto na matriz.
- d) **Concorrentes:** de forma genérica, os produtos que estão em introdução possuem pouca concorrência. O mesmo não acontece quando se encontram em estágio de maturidade. Este critério se justifica por ser um importante indicador de qual estágio o produto está atuando.

Os pesos atuam como a indicação de qual seria o grau de importância de um critério. O decisão, após definir quais dos eixos de avaliação seriam fundamentais, pode concentrar atenção sobre alguns critérios, aumentando o valor de seu peso. É comum trabalhar os pesos em uma faixa que varia de zero a um. Considerando que, uma das características mais marcantes para definir o nível de ciclo de vida de um produto é o tempo de mercado, foi definido que este receberia um peso 0,30; juntamente com a demanda que também é um indicador de peso da aceitação do produto no mercado. Em seguida, foram indicados como investimentos estruturais e concorrência com peso 0,15. Os pesos adotados no exemplo numérico são demonstrados na Tabela 2.

**Tabela 2: Dados sobre critérios e pesos adotados no exemplo numérico**

Critério	Sigla	Peso	Tipo
Tempo de mercado	TM	0,35	Crescente
Demanda	DM	0,35	Decrescente
Investimentos estruturais	IE	0,15	Decrescente
Concorrência	CC	0,15	Decrescente

No ELECTRE TRI, é possível trabalhar a natureza de cada critério como crescente ou decrescente. Atributos, como custo, por exemplo, são tratados de forma decrescente, de maneira que quanto menor o valor, melhor o resultado. Já a lucratividade é tratada de modo crescente. No exemplo proposto, o critério tempo de mercado foi considerado como decrescente, uma vez que quanto menor o tempo de mercado mais próximo o produto estará de sua introdução. Evidentemente, para fins de exemplo numérico, esta premissa foi considerada verdadeira, porém em sua aplicação, em outros contextos, deve-se proceder a uma cautelosa análise. Os demais critérios foram tratados como decrescentes.

Para que o decisor possa emitir sua análise sobre os critérios, deve-se considerar uma escala de julgamento das alternativas à luz de cada critério. A fim de facilitar o processo, foi utilizada um escala verbal que é traduzida por um valor numérico de acordo com as Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3: Escala de julgamento para o critério tempo de mercado**

Escala verbal	Valor
$x < 1$	5
$1 \leq x < 2$	4
$2 \leq x < 3$	3
$3 \leq x < 4$	2
$x \geq 4$	1

Nota: Os valores da escala verbal são considerados em anos.

**Tabela 4: Escala de julgamento para os critérios: investimentos em estrutura, demanda e concorrência**

Escala verbal	Valor
Muito alta	1
Alta	2
Média	3
Baixa	4
Muito baixa	5

Cada uma das categorias será delimitada por duas ações de referência –  $b_h$  delimita a categoria superiormente, enquanto que  $b_{h-1}$  a delimita inferiormente –, desse modo, conforme proposto por Yu (1992), é necessário estabelecer as ações de referência  $b_0, b_1, \dots, b_k$ , tais que, com exceção da primeira e da última categoria, cada uma constitua simultaneamente o limite superior de uma categoria, e o inferior de outra, sendo  $b_k$  em todos os critérios a pior para uma categoria, e a melhor, para outra imediatamente abaixo. Os limites das categorias tornam mais ou menos rígida a classificação das alternativas. Quando maior o nível da categoria mais difícil será a alocação de um produto a uma classe mais elevada. Na Tabela 5, a seguir, é demonstrada a relação entre os critérios, as alternativas de referência e as categorias.

**Tabela 5: Limite das categorias dos perfis de referência**

	TM	DM	IE	CC
$b_1$	3	3	3	3
$b_2$	2	2	2	2,5
$b_3$	1,5	1,5	1	2

Também devem ser definidos os limiares de preferência, indiferença, voto e  $\lambda$ -cut. Segundo Miranda e Almeida (2003), a estrutura de preferências com pseudocritérios – modelo com duplo limiar  $p_j[g(b_h)]$  e  $q_j[g(b_h)]$ , evita a passagem repentina entre a indiferença e a preferência estrita, existindo uma zona de hesitação representada pela preferência fraca. Em aplicações em contexto real, esses

parâmetros devem ser definidos após processos de entrevistas junto ao decisão. Eles apresentam grande implicação nos resultados, sendo recomendável realizar análises de sensibilidade sobre os valores postos pelo decisão. Para o exemplo proposto, serão adotados os valores descritos na Tabela 6.

**Tabela 6: Limiares de preferência, indiferença e corte adotados no exemplo numérico**

	TM	DM	IE	CC
P	3	3	3	3
Q	1	1	1	1
$\lambda$ -cut	0,65	0,65	0,65	0,65

## 5.2 Resultados

Com a definição dos parâmetros é possível aplicar o método ELECTRE TRI, por meio do cálculo dos índices de concordância e discordância. O método proverá a alocação das dez alternativas dentro de cada uma das quatro classes que representam estágios do ciclo de vida. Para isso, o decisão precisará emitir sua avaliação acerca do desempenho de cada alternativa à luz dos quatro critérios. Como exemplo, foi definida a seguinte matriz de avaliação descrita na Tabela 7.

**Tabela 7: Matriz de avaliação das alternativas x critérios**

	TM	DM	IE	CC
$A_1$	5	5	5	5
$A_2$	2	5	5	5
$A_3$	1	1	1	1
$A_4$	1	1	1	5
$A_5$	2	4	3	4
$A_6$	5	5	5	5
$A_7$	2	5	5	5
$A_8$	3	3	3	1
$A_9$	5	4	4	2
$A_{10}$	2	5	3	4

Não existem diferenças entre a classificação provida pela versão otimista ou pessimista do modelo. O procedimento foi discriminante o su-

ficiente para classificar os itens de acordo com os parâmetros definidos. A classificação final é dada pela Tabela 8.

No exemplo numérico, foi considerado como

**Tabela 8: Alocação final dos produtos aos estágios do ciclo de vida**

Introdução	Crescimento	Maturidade	Declínio
$A_1$ $A_6$	$A_2$ $A_7$ $A_9$ $A_{10}$	$A_5$	$A_3$ $A_4$ $A_8$

limite mais rígido de categoria o critério concorrência, forçando as alternativas a apresentarem um melhor desempenho neste item, para que fossem alocadas na classe introdução. Convém ressaltar que o modelo proposto possui a característica não compensatória. Isto impede que resultados sejam distorcidos. Em outras palavras, grandes desempenhos em um critério não são capazes de distorcer resultados fracos de outros critérios já que o modelo não permite que um desempenho seja suprido por outro.

É fortemente recomendável que se realize análises de sensibilidade sobre os resultados. O objetivo é determinar a robustez da classificação final ante a variação dos parâmetros do modelo. Caso o modelo seja robusto isto significará que pequenos erros na determinação de parâmetros do modelo não são capazes de alterar de forma significativa o resultado final.

## 6 Conclusões

A tarefa de alocar produtos na matriz de ciclo de vida normalmente apresenta dificuldades de natureza técnica, já que força o decisão a lidar, ao mesmo tempo, com um conjunto de critérios, muitas vezes, conflitantes entre si. O apoio multicritério à decisão oferece metodologia adequada para lidar com problemas desta natureza.

O modelo proposto visa a oferecer um procedimento estruturado que classifique o portfólio de produtos em diversas fases do ciclo de vida, considerando todos os critérios relevantes para o decisor. O método ELECTRE TRI permite a criação de classes que refletem o próprio mercado e não permite que a avaliação cause compensações e as distorções decorrentes. Além disso, pela correta manipulação dos parâmetros do modelo (limiares, perfis de referência), a empresa pode reproduzir de forma mais fidedigna o mercado estudado. Com essa metodologia é possível criar agrupamentos homogêneos entre as fases do ciclo de vida, desse modo, traduzindo-se como uma importante ferramenta para direcionamento das estratégias empresariais das organizações.

O ELECTRE TRI trabalha com classes ordenadas. Assim, o método também cria uma ordenação interna dentro de cada classe. Embora, neste trabalho, o foco não tenha sido dar ênfase a esta característica, seu uso oferece importantes informações sobre o posicionamento dos produtos nas classes, e seu distanciamento ou proximidade das fases anteriores ou posteriores. Isto pode ser usado como um indicador de comportamento do produto no mercado.

Uma das dificuldades naturais, em trabalhar com o modelo proposto, está na definição correta dos parâmetros do modelo, o que pode interferir de forma intensa nos resultados. Para aplicações em contextos reais, é recomendável a realização de procedimentos de análise de sensibilidade sobre os parâmetros. Estas análises servirão de base para o entendimento do modelo e a verificação dos níveis de tolerância dos resultados ante aos erros de elicitação.

O ELECTRE TRI foi inicialmente projetado para trabalhar com apenas um decisor. Como é comum em muitas empresas, as decisões de natureza complexa envolvem mais de uma pessoa. Nestes casos, é recomendável o uso de versões do modelo des-

tinadas a decisão em grupo, dentre elas o ELECTRE TRI-NG (SOBRAL; COSTA, 2012). Como sugestão para trabalhos futuros, coloca-se a necessidade de avaliar a utilização de tais ferramentas no contexto de decisão em grupo e negociação.

## Referências

- AITKEN, J.; CHILDERHOUSE, P.; TOWILL, D. The impact of product life cycle on supply chain strategy. *International Journal of Production Economics*, v. 85, n. 2, p. 127-140, 2003.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão*. Recife: Universitária, 2003.
- ALMEIDA, S. H. D.; TOLEDO, C. D. T. Qualidade total do produto. Rio de Janeiro: *Produção*, out., p. 21-37, 1991.
- ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J. R.; ROY, B. Electric Tri-c: a multiple criteria sorting based on characteristic reference actions. *European Journal of Operational Research*, v. 204, n. 3, p. 565-580, 2010.
- ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J. R.; ROY, B. A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: the Electre Tri-NC method. *European Journal of Operational Research*, v. 217, n. 3, p. 567-579, 2011.
- ANTONELLI, D.; CHIABERT, P.; VILLA, A. Product lifecycle management to small medium enterprises: discussion and analysis. In: IFAC SYMPOSIUM ON INFORMATION CONTROL PROBLEMS IN MANUFACTURING, 14th, 2012, Romania. *Proceedings...* Romania: IFAC-PapersOnline, n. 1, p. 1059-1064, 2012.
- ARMSTRONG, J. S.; BRODIE, R. J. Effects of portfolio planning methods on decision making: experimental results. *International Journal of Research in Marketing*, v. 11, p. 73-84, 1994.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple criteria decision analysis: an integrated Approach*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, Ph. PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. In: BRANS, J. P. (Ed.), *Operational Research '84*, North-Holland, Amsterdam, pages 477-490, 1984.
- BRITO, A. J.; ALMEIDA, A. T.; MOTA, C. M. A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating utility theory. *European Journal of Operational Research*, p. 812-821, 2009.

- BRITO, R. P. D.; BERNARDI, P. C. Vantagem competitiva na gestão sustentável da cadeia de suprimentos: um metaestudo. *Revista de Administração de Empresas*, v. 50, n. 2, p. 155-169, 2010.
- CHANG, S. L.; WANG, R. C.; WANG, S. Y. Applying fuzzy linguistic quantifier to select supply chain partners at different phases of product life cycle. *International Journal of Production Economics*, v. 100, n. 2, p. 348-359, 2006.
- CHIEN, C.-F.; CHEN, Y.-J.; PENG, J.-T. Manufacturing intelligence for semiconductor demand forecast based on technology diffusion and product life cycle. *International Journal of Production Economics*, v. 218, n. 2, p. 496-509, 2010.
- CONSONI, F. L.; CARVALHO, R. D. Q. Desenvolvimento de produtos na indústria automobilística brasileira: perspectivas e obstáculos para capacitação local. *RAC – Revista de Administração Contemporânea*, jan./abr. p. 39-61, 2002.
- COSTA, H. G. et al. ELECTRE TRI aplicado a avaliação da satisfação de consumidores. *Produção*, São Paulo, p. 230-245, 2007.
- DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. *Multicriteria decision aid classification methods* – Volume 73 de Applied Optimization. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- GEORGOPOLOU, E. et al. A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector. *European Journal of Operational Research*, v. 146, n. 1, p. 199-215, 2003.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Thomson, 2004.
- KAYO, E. K. et al. Ativos intangíveis, ciclo de vida e criação de valor. *RAC – Revista de Administração Contemporânea*, jul-set, p. 73-90, 2006.
- KOTLER, P. *Administração de marketing*: análise, planejamento, implementação e controle. 5<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- LEVITT, T. *Ted Levitt on Marketing* – Harvard business review paperback series. [S.l.]: Harvard Business Pres, 2006.
- LI, H.; YANG, S.; QIAN, Y. Life cycle assessment of coal-based methanol. *Computer Aided Chemical Engineering*, v. 31, p. 530-534, 2012.
- MALCZEWSKI, J. *GIS and multicriteria decision analysis*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1999.
- MENON, A. et al. Antecedents and consequences of marketing strategy making: a model and a test. *Journal of Marketing*, p. 18-40, 1999.
- MIRANDA, C. M.; ALMEIDA, A. T. Avaliação de pós-graduação com método ELECTRE TRI – caso das Engenharias III – Capes. *Produção*, v. 13, n. 3, p. 101-112, 1999.

- MOSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. ELECTRE TRI 2.0a: methodological guide and user's manual. Document du Lamsade. Paris: Université Paris – Dauphine, 1999.
- PASQUAL, C. A.; PEDROZO, E. A. Característica dos negócios no setor de máquinas agrícolas. *RAE-eletrônica*, v. 6, n. 1, 2007.
- RAJU, K. S.; DUCKSTEIN, L.; ARONDEL, C. Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in spain. *Water Resources Management*, v. 14, n. 6, p. 435-456, 2000.
- ROY, B. *Multicriteria for decision aiding*. London: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SANTOS, F. C. A.; PIRES, S. R. I.; GONÇALVES, M. A. Prioridades competitivas na administração estratégica da manufatura: estudo de casos. *RAE Revista de Administração de Empresas*, v. 39, n. 4, out./dez., p. 78-84, 1999.
- SLACK, N.; CHAMBLERS, S.; JOHNSON, R. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 2002.
- SOBRAL, M. F. F.; COSTA, A. P. C. S. Negotiation model for group decision with ELECTRE TRI – the ELECTRE TRI-NG. *Journal of Decision Systems*, p. 121-136, 2012.
- SOBRAL, M. F. F.; COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T. Multi-criteria model for classifying clients of companies distributing liquefied petroleum gas. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2010.
- SZAJUBOK, N. K.; MOTA, C. M.; ALMEIDA, A. T. Uso do método multicritério electre tri para classificação de estoques na construção civil. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 3, p. 625-648, 2006.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1992.
- WIERINGA, J. E.; LEEFLANG, P. S. H. Modelling the effects of promotion expenditures on sales of pharmaceuticals. *Applied Economics*, v. 45, n. 24, 2013.
- WRIGHT, P.; KROLL, M. J.; PARNELL, J. *Administração estratégica: conceitos*. São Paulo: Atlas, 2000.
- YU, W. ELECTRE TRI: aspects méthodologiques et guide d'utilisation. Dauphine, Paris: Université Paris, 1992 (Document du Lamsade, n. 74).

Recebido em 30 maio 2013 / aprovado em 15 ago. 2013

**Para referenciar este texto**

SOBRAL, M. F. F. Uso da modelagem multicritério para apoio ao decisão na alocação de produtos na matriz mercadológica do ciclo de vida dos produtos. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 173-186, 2013.