



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

## UM MODELO GENÉRICO DE CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE: FORMULAÇÃO E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

**Juliana Bonfim Neves da Silva**

Programa de Engenharia de Produção – COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
jubonesi@gmail.com

**Virgílio José Martins Ferreira Filho**

Programa de Engenharia de Produção – COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
virgilio@ufrj.br

**Aníbal Alberto Vilcapoma Ignácio**

Programa de Engenharia de Produção – COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
avilcap@pep.ufrj.br

### Resumo

Devido à intensa competição global e busca da eficiência cada vez maior, por parte das organizações, o conhecimento estratégico na gestão das aquisições se tornou um fator muito importante. O custo total de propriedade é uma metodologia que considera, além do preço pago, os custos envolvidos em todo o ciclo de vida do produto, tais como o custo de aquisição, posse, utilização, manutenção e descarte do bem a ser adquirido. Este trabalho apresenta a formulação de um modelo matemático genérico baseado no conceito de custo total de propriedade, que leva em consideração os principais custos envolvidos no ciclo de vida de determinado produto. Um conjunto de exemplos numéricos foi desenvolvido para ilustrar a aplicabilidade do modelo proposto nas situações de alta e baixa sensibilidade ao TCO e de alta e baixa diferença entre os fornecedores.

**Palavras-chave:** Custo total de propriedade, modelos matemáticos e seleção de fornecedores

### Abstract

Due to intense global competition and the organizations searches for higher efficiency, the strategically knowledge in the management of the acquisitions became an important factor. The Total Cost Ownership is a methodology that considers, beyond the paid price, the costs involved in all the product life cycle, such as the acquisition cost, ownership, use, maintenance and discarding. This work presents a formulation of a generic mathematical model that owns the fundamental characteristics of the concept of total cost ownership, which takes in consideration the main costs involved in a determined product life cycle. A set of

numerical examples was developed to illustrate the applicability of the proposed model in the situations of high and low sensitivity to the TCO and of high and low difference between the suppliers.

**Keywords:** Total Cost Ownership, mathematical models and supplier selection

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à intensa competição global e busca da eficiência cada vez maior, por parte das organizações, o conhecimento estratégico na gestão das aquisições se tornou um fator muito importante. Existe um conhecimento muito restrito sobre o impacto que o processo de aquisição de bens e serviços tem no resultado final das empresas, isto é, custos gerados por aquisições que não levam em consideração os custos indiretos tais como, custos de garantia, custos da não-qualidade dos materiais e custos da manutenção dos materiais, que acabam sendo transferidos pelos fornecedores para os compradores impactando o custo total do produto durante todo o seu ciclo de vida. Esses custos indiretos vêm desde o planejamento, da aquisição, a própria aquisição a internalização do produto até o descarte do produto quando acaba seu ciclo de vida.

Segundo Degraeve et al. [6] as compras externas dos produtos e dos serviços respondem por mais de 60% dos custos totais para a maioria das companhias. Desta forma, economias de custo significativas podem ser realizadas se a estratégia de aquisição for otimizada. Existem diversos critérios, quantitativos e qualitativos, que são encontrados na literatura e são utilizados no processo de decisão de compra de bens e serviços. Dentre esses critérios existe uma metodologia que considera, além do preço pago, os custos envolvidos em todo o ciclo de vida do produto tais como o custo de aquisição, posse, utilização, manutenção e descarte do bem a ser adquirido. Esta metodologia é chamada de custo total de propriedade, ou TCO, do inglês *Total Cost of Ownership*.

A maioria dos modelos com enfoque no TCO existentes na literatura são modelos aplicados a uma situação real, porém muitas vezes com particularidades que dificultam a identificação dos aspectos-chaves que definem o TCO. Por conseguinte este trabalho apresenta uma proposta de um modelo básico que contém os aspectos principais que definem o TCO.

O presente artigo apresenta, na seção 2, os conceitos de TCO, seguidos, na seção 3, por uma revisão da literatura existente sobre modelos matemáticos com esse enfoque, a seção 4 propõe um modelo matemático genérico baseado no custo total de propriedade que é ilustrado por um conjunto de exemplos, descrito na seção 5, finalmente na seção 6 são apresentadas as conclusões do estudo realizado.

## 2. CONCEITO DO TOTAL COST OWNERSHIP - TCO

O TCO é uma métrica que foi originalmente criada para medir custos em tecnologia da informação (TI), que leva em consideração os custos diretos, geralmente relacionados com aquisição e os custos indiretos, geralmente relacionados com manutenção. Criada pela *Gartner Group*, empresa de consultoria e pesquisa de mercado de tecnologia TI, a técnica de TCO é fruto de uma visão holística dos limites da empresa. Dá um significado quantitativo para se entender o desempenho qualitativo da organização. O enfoque do TCO consiste em considerar os custos incorridos ao longo do ciclo de vida de um ativo, incluindo: aquisição, recepção, posse, utilização e descarte.

O TCO é uma ferramenta direcionada para a compreensão dos custos de internalização de um bem ou serviço considerando um ou mais fornecedores. Como ferramenta, o TCO requer que o comprador determine quais são os custos mais relevantes no ciclo de vida do produto.

Wouters et al. [13] definem o TCO como o processo de identificação de *trade-offs* de

custo existentes nas decisões de compras. Estes custos podem ser incorridos tanto na área de compras, como em outras áreas da empresa compradora e até mesmo no próprio fornecedor. A inclusão de *trade-offs* existentes nas outras áreas é característica fundamental do TCO, uma vez que as decisões de compras podem ter impactos significativos em outras funções da organização.

Segundo Ellram e Zsidisin [3], o TCO é uma importante técnica de gerenciamento de custos, usada pelas organizações. É definida como uma abordagem para se entender e gerenciar os verdadeiros custos e se negociar os preços dos produtos de um determinado fornecedor em diversas situações relacionadas a compras estratégicas e táticas.

O TCO ajuda a determinar o real custo de um determinado produto, gerenciando de uma forma melhor, reduzindo os custos e conseqüentemente melhorando o valor total dos investimentos. Por exemplo, um produto que inicialmente possui um menor preço na sua aquisição, pode mais tarde se tornar mais custoso para organização devido aos altos custos incorridos ao longo do ciclo de vida do produto. A Figura 1 ilustra os custos totais incorridos em cada etapa do ciclo de vida do produto 1 e do produto 2. Nota-se neste exemplo que apesar do produto 2 possuir menores custos nas etapas de aquisição e recepção, estes se tornam maiores ao se considerar as demais etapas de posse, utilização e descarte.

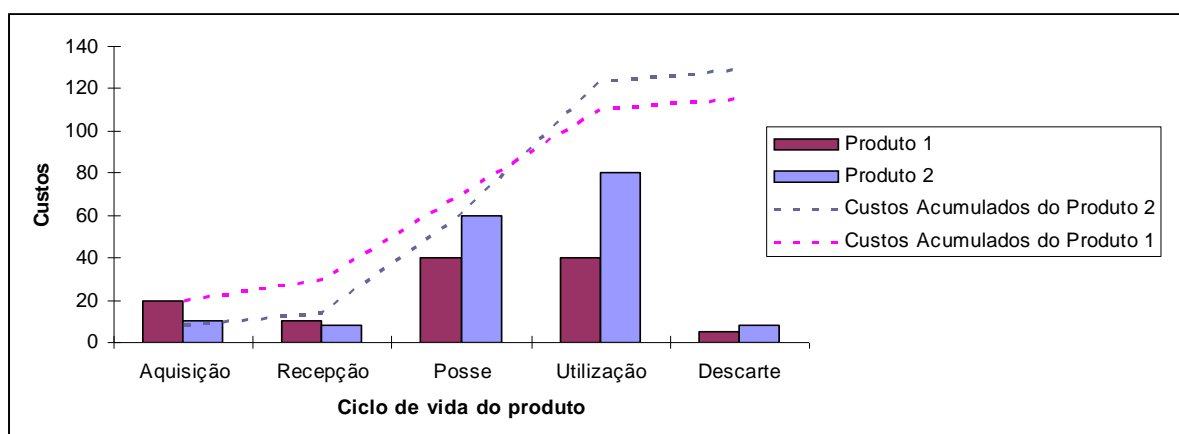


Figura 1 – Produtos sensíveis ao TCO

Os modelos de seleção de fornecedores, baseados no TCO tentam incluir todos os custos quantificáveis que sejam dependentes do fornecedor e que são incorridos durante o ciclo de vida do produto, como por exemplo, De Boer et al. [4] distinguem custos de Pré-Transação, Transação e Pós-Transação na seleção de fornecedores. Os modelos baseados em TCO consistem basicamente da sumarização e quantificação de todos ou vários custos associados à escolha de fornecedores e subseqüentemente, ajustando ou penalizando o preço unitário no intuito de minimizar os custos das compras totais.

Um conjunto de metodologias, modelos e ferramentas foram desenvolvidos para ajudar às organizações a medir o TCO, o que permite gerenciar e reduzir os custos de maneira a melhorar o valor total dos investimentos, como pode ser visto em Degraeve et al. [6].

### 3. REVISÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS COM ENFOQUE NO TCO

A Pesquisa Operacional oferece segundo De Boer et al. [4], uma série de métodos e técnicas que podem apoiar os decisores a lidarem com a complexidade de escolher o melhor fornecedor e as políticas de compra com base no enfoque do TCO. Exemplos destas técnicas são: apoio à decisão multicritério, programação matemática, lógica nebulosa, etc. Dentro destas técnicas destacam-se os modelos de programação matemática..

Segundo Fernandes et al. [7], um aspecto importante na seleção de fornecedores diz respeito à definição de critérios e das métricas a serem avaliadas, já que em muitos casos isto está relacionado à cultura da organização. De forma geral, observa-se que os fatores preços, qualidade, entrega e serviços são avaliados como de grande importância na maioria das categorias de produto e de situações de compra.

Numa pesquisa realizada por Ellram [2] com 11 empresas que utilizam o TCO, são evidenciadas muitas razões para a sua adoção. Entretanto, os principais motivos são respectivamente: suporte decisório para a seleção de fornecedores, estabelecimento de medidas para a avaliação de desempenho dos fornecedores e direcionamento para mudança de processos organizacionais.

Timmerman [12] propõe um método de relação de custos em uma estrutura hierárquica, para classificar fornecedores em três classes considerando dados históricos. Este método avalia e categoriza o desempenho de cada fornecedor considerando os custos indiretos. Esta abordagem quantifica todos os custos para cada produto comprado de um determinado fornecedor, envolvendo os custos relacionados à qualidade, entrega e serviço. Estes custos são expressos como porcentagem, de benefício, ou de penalidade, no preço unitário. Contudo, tal método é muito sensível à mudanças no desempenho e depende fortemente do julgamento humano.

Monkzca e Trecha [9] e Smytka et al. [11] combinam uma abordagem de custo total com sistemas de avaliação de critérios tais como desempenho de entrega e serviços para os quais é mais difícil se obter a quantificação do custo. Os modelos são aplicados a casos relativamente simples.

Pan [10] apresenta um modelo de programação matemática para a determinação simultânea do número de fornecedores a serem usados e das quantidades de compras a serem feitas de cada fornecedor. No modelo proposto deseja-se minimizar o preço agregado sujeito às restrições de qualidade, entrega e desempenho do serviço oferecido. A função objetivo e as restrições desse modelo são intercambiáveis, por exemplo, se a qualidade for considerada como mais importante que o preço, esta poderia deixar de ser restrição e passar a ser a função objetivo, e o preço se tornaria uma das restrições desse novo problema. O fornecedor que apresente o menor índice de custo deve ser o escolhido.

Em Benton [1] é apresentado um método para se definir o tamanho do lote no processo de compra. Os autores examinam os métodos com os quais os gerentes de materiais tomam decisões de quantidade ou tamanho do lote a se comprar e consideram decisões de desconto de quantidade sob condições de múltiplos itens com diversos fornecedores e recursos limitados. No trabalho são apresentados os passos de uma heurística para solucionar este problema e diversos resultados computacionais, mostrando a real utilidade do método.

Segundo Willis et al. [14] existem várias metodologias para avaliar fornecedores, que facilitam na escolha do melhor fornecedor que satisfaçam uma série de características. Entre elas, três são mais destacadas na literatura, quais sejam: categorização, pesos atribuídos (weight points) e razão de custo (cost ratio). Embora cada uma destas abordagens ofereçam vantagens sob condições específicas, estas não fornecem geralmente aplicabilidade quando aplicada a múltiplos critérios. Por consequência disto os autores propõem um método alternativo para avaliação de fornecedores que consiste em uma modificação do modelo de análise dimensional. A análise dimensional trata-se numa técnica matemática que combina sistematicamente vários critérios com diferentes dimensões.

Degraeve e Roodhooft [5] propõem um modelo de programação matemática que usa as informações baseadas no TCO para selecionar fornecedores e determinar quantidades de pedido em diversos horizontes de tempo. O modelo leva em consideração três níveis hierárquicos de atividades em que os parâmetros podem ser subdivididos. São eles: nível do fornecedor, nível de ordem (pedido), nível do produto. As atividades com o fornecedor consideram os custos incorridos e as condições impostas na escolha de um fornecedor, exemplos desses custos são os custos de auditoria do fornecedor, custos de administração da

compra, etc. As atividades com os pedidos são os custos incorridos e as condições impostas cada vez que um pedido é realizado num determinado fornecedor, como por exemplo, custos de pedido, de recepção, de teste, de transporte, etc. As atividades com o produto consideram os custos de preço do produto, falha do produto, custos de estoque, etc. Este modelo matemático de Degraeve e Roodhooft [5] leva em consideração algumas dimensões que ainda não haviam sido modeladas na literatura de seleção de fornecedores.

Em um artigo mais recente, Degraeve et al. [6] estendem o modelo acima para considerar diferentes grupos de produtos. Os autores desenvolvem este modelo para um caso específico de uma aplicação real. A matriz de TCO é construída através de entrevistas com os gerentes de uma empresa belga de aço com os quais foi discutida a importância do enfoque do TCO, bem como as restrições impostas dentro da empresa. Dimensões da cadeia de valor destacadas pelos autores: aquisição, recepção, posse, utilização, descarte e seus custos relacionados. Essas dimensões permitem considerar o impacto das estratégias de compra sobre as atividades e custos em toda a organização, o que pode ser categorizado em níveis hierárquicos.

#### 4. MODELO NÚCLEO DE TCO

Nesta parte do trabalho é desenvolvida uma proposta de modelo matemático genérico de TCO. Este é um modelo básico que pode, via adição e/ou modificação de objetivos e restrições, originar outros modelos mais específicos de TCO.

O problema pode ser definido como:

Dados:

- Um conjunto de produtos;
- Um período de demanda para cada produto;
- Um conjunto de fornecedores potenciais;
- Uma política de estoque;
- Os custos associados a cada fornecedor.

Queremos saber

- Quais fornecedores deveram ser escolhidos?
- Quais são as quantidades de cada um dos produtos que deverão ser adquiridos de cada fornecedor?
- Em que intervalos de tempo os produtos deveram ser adquiridos?

Com o objetivo de minimizar o custo total de propriedade satisfazendo as restrições do problema.

O modelo núcleo leva em consideração aspectos quantitativos e qualitativos do enfoque de TCO, que possam ser usados em um sistema de apoio à decisão. O modelo proposto visa minimizar o TCO atendendo a demanda por um determinado produto em um período de planejamento de compras. Os custos são divididos em: custos de escolha, custos de aquisição, custos de manutenção, custos de estoque e custos com descarte. As restrições do modelo forçam as condições impostas e os relacionamentos existentes entre as variáveis.

A seguir são descritas os parâmetros e as variáveis que definem a formulação matemática do modelo proposto.

##### Parâmetros:

$T$ : conjunto de períodos de tempo.  $t = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;

$S$ : conjunto de fornecedores.  $s = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;

$ce_s$ : custo com a escolha do fornecedor  $s$ ;

$ca_s$ : custo com aquisição do fornecedor  $s$ ;

$p_s$ : preço do produto do fornecedor  $s$ ;

$ci_s$ : custo de instalação do fornecedor  $s$ ;

$cd_s$ : custo com o descarte do produto do fornecedor  $s$ ;  
 $cs_{st}$ : custo com estoque dos produtos do fornecedor  $s$  no período  $t$ ;  
 $cm_s$ : custo de manutenção do produto do fornecedor  $s$  no período  $t$ ;  
 $ef_s$ : eficiência de um produto do fornecedor  $s$ ;  
 $dt$ : demanda do produto no tempo  $t$ ;  
 $min_s$ : número mínimo de fornecedores a serem utilizados;  
 $max_s$ : número máximo número de fornecedores a serem utilizados;  
 $maxpc$ : máximo percentual de quantidade de produtos comprados de um fornecedor  $s$ .  
 $s_{s0}$ : estoque inicial do fornecedor  $s$ ,  $\forall s \in S$ .

### Variáveis de decisão:

$$z_s = \begin{cases} 1, & \text{se o fornecedor } s \text{ é escolhido} \\ 0, & \text{caso contrário } \forall s \in S \end{cases};$$

$$y_{st} = \begin{cases} 1, & \text{se é realizada uma compra do fornecedor } s \text{ no período } t, \\ 0, & \text{caso contrário. } \forall s \in S, \forall t \in T \end{cases};$$

$x_{st}$ : quantidades de produtos comprados do fornecedor  $s$  no período  $t$ .  $\forall s \in S, \forall t \in T$ ;

$w_{st}$ : consumo dos produtos do fornecedor  $s$  no período  $t$ .  $\forall s \in S, \forall t \in T$ .

$s_{st}$ : estoque dos produtos comprado do fornecedor  $s$  no período  $t$ .  $\forall s \in S, \forall t \in T$ ;

Com estes parâmetros e variáveis o problema pode ser definido como:

### Problema Núcleo TCO

$$\text{Min} \sum_{s \in S} ce_s z_s + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} ca_s y_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} p_s x_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} (ci_s + cd_s) w_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} cm_{st} w_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} cs_{st} s_{st} \quad (1)$$

Sujeito à:

$$\sum_{s \in S} ef_s w_{st} = d_t, \quad \forall t \in T; \quad (2)$$

$$s_{s1} = s_{s0} + x_{s1} - w_{s1}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T; \quad (3)$$

$$s_{st} = s_{s,t-1} + x_{st} - w_{st}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\}; \quad (4)$$

$$x_{st} \leq \sum_{l \in m, l \geq t} d_l y_{st}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T; \quad (5)$$

$$\sum_{s \in S} z_s \geq \min_s; \quad (6)$$

$$\sum_{s \in S} z_s \leq \max_s; \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} x_{st} \leq \max pc \sum_{t \in T} d_t z_s, \quad \forall s \in S; \quad (8)$$

$$z_s \leq \sum_{t \in T} y_{st}, \quad \forall s \in P; \quad (9)$$

$$z_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S; \quad (10)$$

$$y_{st} \in \{0,1\}, \quad x_{st} = \{0,1,2,\dots\}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\}; \quad (11)$$

$$w_{st} \geq 0, \quad s_{st} \geq 0, \quad s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\}. \quad (12)$$

Na função objetivo (1) do Problema TCO cada parcela se refere a um determinado tipo de custo. Assim sendo a primeira parcela se refere aos custos com a escolha de fornecedores, as demais parcelas se referem respectivamente aos custos de pedido, de compra, de instalação e de descarte de produto utilizado, com a manutenção do produto de um determinado fornecedor por um período determinado e por fim os custos de estoque.

Com relação às restrições tem-se que: as restrições (2) garantem que os produtos comprados dos fornecedores, devem satisfazer a demanda, em cada período de tempo. As restrições (3) garantem que a quantidade de produtos usados no primeiro período deve ser igual ao estoque inicial mais a aquisição no período e menos o estoque gerado no final do período. As restrições (4) garantem que o uso dos produtos, em cada período, deve considerar as compras no período e o estoque no período anterior. As restrições (5) garantem que as compras devem respeitar a demanda futura, no período em que está realizando a compra. As restrições (6) e (7) definem as quantidades mínima e máxima de possíveis fornecedores serem utilizados. As restrições (8) garantem que as compras efetivadas devem obedecer às proporções de compra de cada fornecedor. As restrições (9) garantem a consistência do modelo na escolha do fornecedor, ou seja, compras só poderão ser feitas de um fornecedor se ele tiver sido escolhido em um dado período. Finalmente as restrições (10), (11) e (12) definem a natureza binária, inteira e Real não negativa das variáveis de decisão.

## 5. EXEMPLOS

Com o objetivo de melhor esclarecer e consolidar a proposta anteriormente apresentada foram criados quatro exemplos fictícios para a aplicação do modelo. Foram realizados testes computacionais que correspondem a quatro diferentes cenários, conforme pode ser visto na Figura 2. O eixo horizontal representa o grau de sensibilidade do problema ao TCO, e o eixo vertical representa a diferença dos custos entre fornecedores.

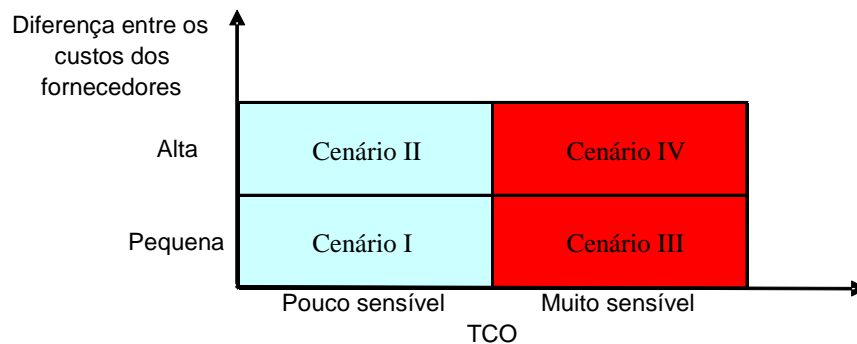


Figura 2 – Matriz de Classificação

Os cenários I e II consistem em problemas pouco sensíveis ao TCO, ou seja, para situações nas quais não existem altos custos de internalização, isto é, os custos acumulados da manutenção, instalação, estocagem, entre outros não representam custos maiores do que os custos de compra. Os cenários III e IV, são cenários muito sensíveis ao TCO, nestes cenários é mais difícil de determinar a melhor opção de compra devido a quantidade e variabilidade de custos existentes.

O modelo de núcleo foi implementado no software *Aimms*. Segundo Ignácio e Ferreira Filho [8], o *Aimms - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software* oferece um

ambiente de desenvolvimento abrangente, no qual pessoas experientes em modelagem podem criar plenamente aplicações funcionais, prontas para serem usadas por pessoas mais leigas ou usuários finais.

Nos quatro exemplos a demanda é dada é um horizonte de 12 meses. É importante ressaltar que a demanda foi gerada a partir de números aleatórios com a distribuição *beta*. Esta foi usada porque possui a vantagem de fornecer uma grande variedade de formatos em função dos valores de seus parâmetros característicos ( $\alpha, \beta$ ). Como o principal objetivo desta seção é ilustrar o modelo proposto, foi considerado apenas um tipo de demanda, como mostrado na Figura 3.

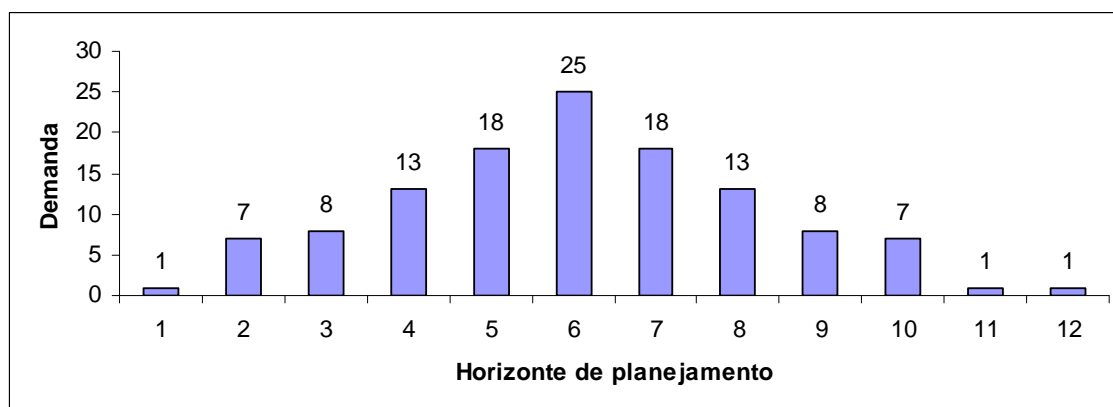


Figura 3 – Demanda no horizonte de planejamento de 12 períodos

Os exemplos também consideram três fornecedores para cada produto, com custos diferenciados no preço ( $p_s$ ), aquisição( $ca_s$ ), instalação( $ci_s$ ), manutenção( $cm_s$ ), estoque ( $cs_s$ ), descarte ( $cd_s$ ) e nos custos de escolha do fornecedor( $ce_s$ ).

Dados estes parâmetros de entrada no modelo proposto, os resultados são a escolha do fornecedor que não necessariamente oferece o menor preço. O modelo também nos informa a quantidade de produtos que devem ser adquiridos e estocados em cada um dos períodos considerados.

### 5.1. EXEMPLO DE APLICAÇÃO I

Correspondendo ao cenário I, foi resolvido o Problema Núcleo TCO considerando os parâmetros de entrada mostrados na Tabela 1. Este cenário consiste de fornecedores com baixa diferenciação e com baixa sensibilidade ao TCO, como pode ser visto na Figura 2 . A baixa diferenciação entre os custos é facilmente visualizada na Tabela 1, uma vez que cada um dos custos possui uma diferença de no máximo 33% . Entretanto a baixa sensibilidade ao TCO é dada neste exemplo, pela não existência dos custos de instalação e manutenção, ou seja, a análise do custo total no modelo acaba considerando unicamente o custo de compra do produto que levam em consideração os custos de escolha ( $ce_s$ ) e aquisição ( $ca_s$ ).

Fornecedores (s)	ce	ca	p	ci	cd	cm	cs
1	1,5	9	10	0	0	0	0,02
2	1	9,9	11	0	0	0	0,022
3	1,2	10	12	0	0	0	0,024

Tabela 1 – Dados de entrada do exemplo I

Por conseguinte, analisando-se somente o preço de compra, pode-se concluir que o fornecedor 1 é mais atraente que os outros fornecedores. Para melhor visualização, são mostrados na Tabela 2 os custos incorridos ao longo do horizonte de planejamento de cada



fornecedor. Observe que o fornecedor que oferece o menor preço também gera o menor custo total.

Fornecedor	1	2	3
Custo com o fornecedor	1,5	1	1,2
Custo com a aquisição	9	9,9	10,0
Custo com a posse do produto	1200	1320	1440
Custo com a instalação	0	0	0
Custo com a manutenção	0	0	0
Custo com estoque	12,1	13,3	14,5
Custo com descarte	0	0	0
Custos Totais	1223	1344	1466

Tabela 2 – Custos incorridos de cada fornecedor do exemplo I

Os resultados obtidos do pelo modelo implementado no software *Aimms* são mostrados na Tabela 3. Nesta tabela constam a quantidade de produtos a serem comprados, consumidos e estocados ao longo do horizonte de planejamento de 12 meses.

	Horizonte de planejamento											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compra	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda	1	7	8	13	18	25	18	13	8	7	1	1
Estoque	119	112	104	91	73	48	30	17	9	2	1	0

Tabela 3 – Resultados obtidos do exemplo I

A Figura 4 ilustra custos incorridos no ciclo de vida do produto do fornecedor escolhido pelo modelo. Nesta figura pode-se observar a influência dos custos com a compra do produto no custo para este cenário.

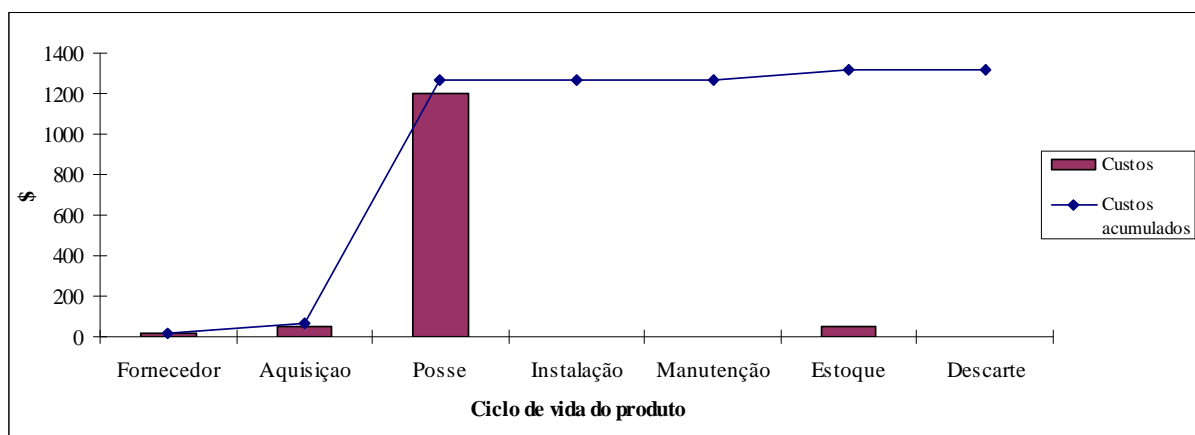


Figura 4 – Custos totais do exemplo I

## 5.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO II

Este exemplo corresponde ao cenário II da matriz de classificação ilustrada acima (ver Figura 2). O cenário II consiste na alta diferenciação dos custos entre fornecedores e na baixa sensibilidade ao TCO. Como no exemplo I a baixa sensibilidade do TCO deste exemplo

também é dada pela ausência dos custos de manutenção e instalação, como pode ser visto na Tabela 4. Entretanto o que difere este cenário do cenário I é a diferença entre os custos dos fornecedores.

Fornecedores (s)	ce	ca	p	ci	cd	cm	cs
1	5	12	10	0	0	0	0,02
2	10	30	20	0	0	0	0,04
3	15	60	50	0	0	0	0,1

Tabela 4 – Dados de entrada do exemplo II

Na Tabela 5 mostra os custos incorridos de cada fornecedor do exemplo II. Neste exemplo o fornecedor 1 também foi escolhido pelos mesmos motivos do exemplo anteriormente citado. Este fornecedor apresenta baixos custos se comparados com os outros fornecedores.

Fornecedor	1	2	3
Custo com o fornecedor	5	10	15
Custo com a aquisição	12	30	60,0
Custo com a posse do produto	1200	2400	6000
Custo com a instalação	0	0	0
Custo com a manutenção	0	0	0
Custo com estoque	12,1	24,2	60,6
Custo com descarte	0	0	0
Custos Totais	1229	2464	6136

Tabela 5 – Custos incorridos de cada fornecedor do exemplo II

Os resultados obtidos pelo modelo com relação a quantidades de produtos comprados e estocados neste exemplo foram iguais do exemplo de aplicação I. Esta semelhança decorre da pouca sensibilidade ao TCO que os cenários que representam.

### 5.3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO III

Neste caso os produtos têm alta sensibilidade ao TCO e a diferença entre os custos dos fornecedores é baixa. A alta sensibilidade ao TCO deste exemplo é dada pelo fato da existência de todos os custos incorridos no ciclo de vida do produto do fornecedor, onde o produto comprado produz custos internos ( $ci$ ,  $cm$ ,  $cd$ ,  $cs$ ) maiores que os custos de compra ( $ce$ ,  $ca$ ,  $p$ ) como pode ser visto na Tabela 6. Observe que a baixa diferença entre os custos dos fornecedores torna difícil avaliar intuitivamente o menor custo total de propriedade.

Fornecedores (s)	ce	ca	p	ci	cm	cd	cs
1	22	18	10	35	57	1,2	0,02
2	21,5	16	11	31	50	1,1	0,022
3	20	15	12	30	49	1	0,024

Tabela 6 – Dados de entrada do exemplo III

Analisando-se sob a ótica do TCO, apesar do fornecedor 3 ser aquele com o maior preço de venda, os custos associados ao ciclo de vida são mais baixos que os demais, o que gera o menor custo total de propriedade, como mostrado na Tabela 7 . Este exemplo mostra claramente que nem sempre o menor preço é a melhor compra.

Fornecedor	1	2	3
Custo com o fornecedor	22	21,5	20
Custo com a aquisição	18	16	15
Custo com a posse do produto	1200	1320	1440
Custo com a instalação	4200	3720	3600
Custo com a manutenção	6840	6000	5880
Custo com estoque	12,1	13,3	14,5
Custo com descarte	144	132	120
Custos Totais	12436	11223	11090

Tabela 7 – Custos incorridos de cada fornecedor do exemplo III

As soluções obtidas pelo modelo para o exemplo III são apresentadas na Tabela 8.

	Horizonte de planejamento											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compra	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda	1	7	8	13	18	25	18	13	8	7	1	1
Estoque	119	112	104	91	73	48	30	17	9	2	1	0

Tabela 8 - Resultados obtidos do exemplo III

A Figura 5 ilustra os custos incorridos em cada fase no ciclo de vida do produto do fornecedor escolhido.

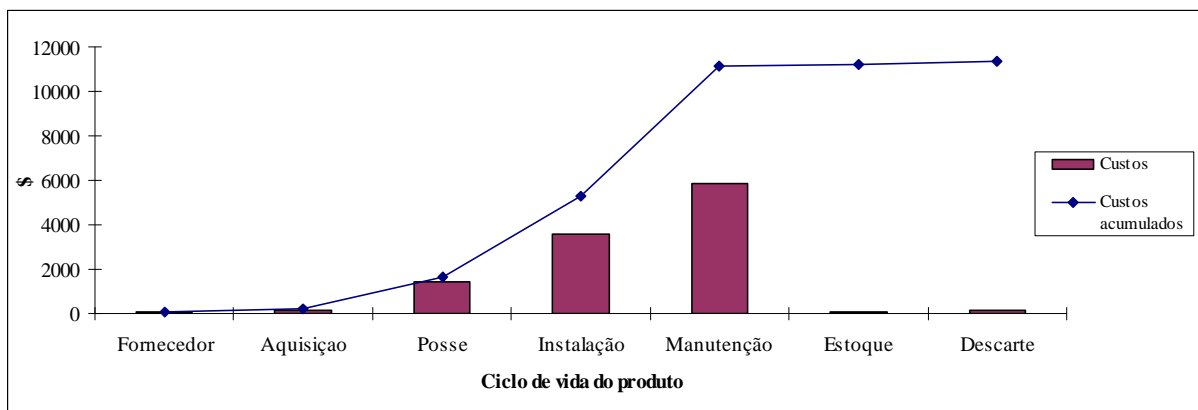


Figura 5 – Custos totais do exemplo III

#### 5.4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO IV

Este exemplo consiste na alta diferença entre os custos dos fornecedores e na alta sensibilidade ao TCO. Como no cenário anterior a alta sensibilidade deste exemplo é dada pela diferença entre os custos internos e externos. Entretanto o que difere o exemplo IV do exemplo III é a diferença entre os custos dos fornecedores, que são bem maiores. Os dados de entrada deste cenário são mostrados na Tabela 9.

Fornecedores (s)	ce	ca	p	ci	cm	cd	cs
1	2	20	10	30	200	5	0,02

2	5	40	20	20	75	2,5	0,04
3	10	10	50	15	40	1	0,1

Tabela 9 – Dados de entrada do exemplo IV

Neste cenário, como no cenário III, a solução obtida escolhe comprar do fornecedor 3 que possui o maior preço, porém este fornecedor possui o menor custo total de propriedade se comparado com os demais fornecedores, como pode ser visto na Tabela 10.

Fornecedor	1	2	3
Custo com o fornecedor	2	5	10
Custo com a aquisição	20	40	20
Custo com a posse do produto	1200	2400	6000
Custo com a instalação	2160	2400	1800
Custo com a manutenção	12000	9000	4800
Custo com estoque	12,1	24,2	24,1
Custo com descarte	360	300	120
Custos Totais	15754	14169	12774

Tabela 10 – Custos incorridos de cada fornecedor do exemplo IV

A Tabela 11 e a Figura 6 mostram os resultados obtidos pelo modelo para o exemplo IV.

	Horizonte de planejamento											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compra	47	0	0	0	0	73	0	0	0	0	0	0
Demanda	1	7	8	13	18	25	18	13	8	7	1	1
Estoque	46	39	31	18	0	48	30	17	9	2	1	0

Tabela 11 – Resultados obtidos do exemplo IV

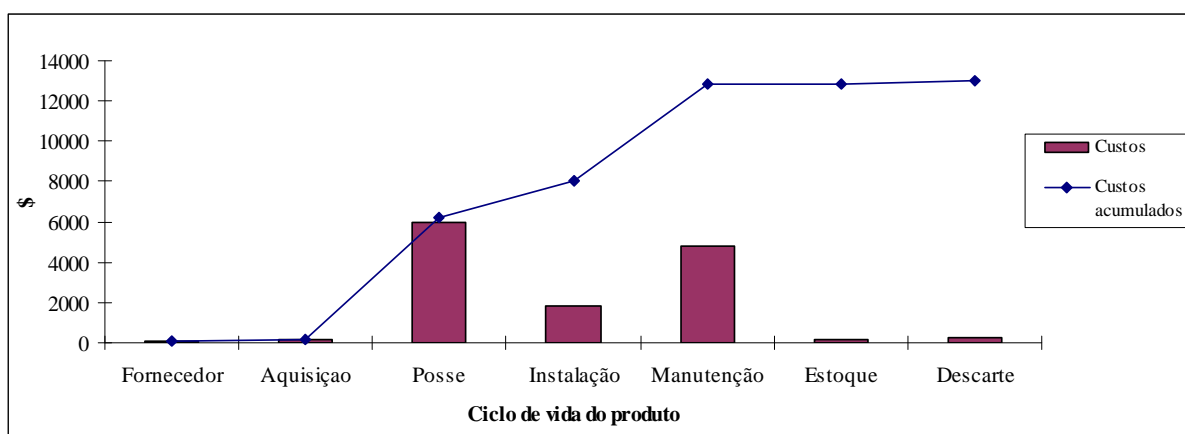


Figura 6– Custos totais do cenário IV

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma revisão bibliográfica do TCO, destacando os conceitos presentes na literatura sobre modelos de avaliação e seleção de fornecedores para aquisição de bens e serviços com enfoque TCO. Foi também apresentada uma formulação de um modelo núcleo, que leva em consideração os principais custos envolvidos no ciclo de vida de determinado produto. Um conjunto de exemplos numéricos foi desenvolvido para ilustrar a

aplicabilidade do modelo proposto nas situações de alta e baixa sensibilidade ao TCO e de alta e baixa diferença entre os fornecedores. Outros testes estão sendo conduzidos de forma a avaliar e validar o modelo desenvolvido.

Como as compras externas dos produtos e dos serviços correspondem a uma parte importante dos custos totais para a maioria das organizações, o modelo de TCO proposto pode ser uma eficiente ferramenta aplicável a várias organizações, uma vez que o modelo proposto pode servir de base para modelos particulares de TCO. A eficiência da utilização destes modelos depende de um sistema de apoio a decisão que incorpore o modelo proposto.

É importante ressaltar que o bom entendimento do desempenho no processo de aquisição dos produtos ou serviços de uma organização é um fator de extrema importância devida a competição no mercado globalizado. Porém é importante refletir sobre os tópicos de gestão estratégica baseadas no custo total de propriedade.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] **BENTON, W.C.** Quantity discount decisions under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitations. *International Journal of Production Research*, Vol 29, n.10, p.1953-1961, 1991.
- [2] **ELLRAM LM.** Total cost of ownership, an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*; 25:4–23, 1995.
- [3] **ELLRAM, L.M, & ZSIDISIN, G.** Factor that drive purchasing and Supply Management's Use of Information Technology. *IEE Transaction on Engineering management*. Vol 49 n. 3, 2002.
- [4] **DE BOER L., LABRO E. & MORLACCHI P.** A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v.7, 75-89, 2001.
- [5] **DEGRAEVE, Z; & ROODHOOFT, F.** Improving the efficiency of the Purchasing Process using Total Cost of Ownership information: The case of heating electrodes at Cockerill Sambre SA. *European Journal of Operational Research*, 112 (1): 42-53, 1999.
- [6] **DEGRAEVE, Z., ROODHOOFT, F. & VAN DOVEREN, B.** The use of total cost of ownership for strategic procurement: a company-wide management information system. *Journal of the Operational Research Society*, 56, p.51–59, 2005.
- [7] **FERNANDES, E. ; IGNACIO, A. A. V. ; SAMPAIO, L.M.D ; ARAUJO ; MELO ; MOREIRA ; SILVA .** A Importância do Custo Total de Propriedade na Formulação da Política de Aquisição das Empresas Estatais. XI Congresso Brasileiro de Energia-. XI CBE, Rio de Janeiro, 2006.
- [8] **IGNÁCIO, A. A. V.; FERREIRA FILHO V. J. M.** O uso de software de modelagem AIMMS na solução de problemas de programação matemática, *Pesquisa Operacional*, 24, 197-210, 2004.
- [9] **MONCZKA, R. M. & TRECHA, S.J.** Cost-based supplier performance evaluatio. *Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol.24, n.2, 2-7, 1988.
- [10] **PAN, A.C.** Allocation of order quantities among supplier. *Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol.25, n.2, p. 36-39, 1989.
- [11] **SMYTKA, D.L.; CLEMENS, M.W.** Total cost supplier selection model: a case stud., *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 29 (1), 42-49, 1993.
- [12] **TIMMERMAN, E.** An approach to vendor performance evaluation. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 1, 27-32, 1986.

- [13] **WOUTERS, M; ANDERSON, JC; WYNSTRA, F.** The adoption of Total Cost of Ownership for sourcing decisions – a structural equations analysis. *Accounting Organizations and Society* 30 (2): 167-191, 2005.
- [14] **WILLIS, T.H.; HUSTON, C.R. & POHLKAMP, F.** Evaluation measures of just-time supplier performance. *Production and Inventory Management Journal*, 2nd quarter, p.1-5, 1993.