

RELATÓRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**CONTROLE DE ESTOQUES MULTICAMADA EM UMA CADEIA DE
SUPRIMENTOS COM USO DA INFORMAÇÃO: TEORIA E CASO ILUSTRATIVO**

**Aluna: Joana Freire de Carvalho
Orientador: Fernanda Maria Pereira Raupp**

AGOSTO DE 2013

Sumário:

1-Introdução.....	3
2-Controle de Estoques Multicamada.....	4
3-Análise de Sensibilidade	12
3.1 -Número de Varejistas no Sistema.....	12
3.2 -Taxa Média demandada(λ).....	13
3.3 -Tamanho do lote(Q).....	14
3.4 -Ponto de Pedido do Varejistas(R).....	15
3.5 -Tempo entre Pedidos(T_o).....	16
4 - Relações Relevantes.....	17
4.1 - Relação Tempo de Reposição <i>versus</i> Estoque de Segurança.....	17
4.2 - Relação Estoque de Segurança <i>versus</i> Incerteza de Demanda.....	17
4.3 -formas de reducao do tempo de reposicao	18
5- Considerações finais.....	18
6 -Conclusão.....	19

Índice de Tabelas:

Tabela 1 - Dados do modelo de minimização de TC(Moinzadeh, 2001).....	5
Tabela 2 - Variáveis de Decisão do Modelo (Moinzadeh, 2001).....	6
Tabela 3 - Valores Intermediários Calculados	7
Tabela 4 - Custo relevante total conforme variação de R	8
Tabela 5 - Variação do custo total conforme número de varejistas.....	10
Tabela 6 - Variação do custo relevante total conforme taxa média da demanda (λ).....	11
Tabela 7- Variação do custo de estocagem nos varejistas conforme número de varejistas.....	12
Tabela 8 - Variação do custo estocagem no fornecedor conforme número de varejistas.....	13
Tabela 9 - Custo de Estocagem Varejistas <i>versus</i> taxa média da demanda.....	14

Índice de Gráficos:

Gráfico 1 Evolução do custo relevante total conforme variação de R	9
Gráfico 2- Custo Total relevante <i>versus</i> Número de Varejistas(Varejo)	10
Gráfico 3 - Custo Relevante Total <i>versus</i> Taxa Média Demandada	10
Gráfico 4 - Custo dos Varejistas <i>versus</i> Número de Varejistas.....	11
Gráfico 5 - Custo de estocagem no fornecedor <i>versus</i> taxa média da demanda (λ).....	12
Gráfico 6- Custo de Estocagem nos Varejistas <i>versus</i> Tamanho do lote Q	13
Gráfico 7 - Custo de estocagem dos varejistas <i>versus</i> ponto de reposição	14
Gráfico 8 - Custo de estocagem no fornecedor <i>versus</i> tempo entre pedidos (T_o).....	15
Gráfico 9 - Custos <i>versus</i> quantidade	16

1- Introdução

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é uma estratégia de gestão que considera como um dos aspectos primordiais para sua implementação, a integração entre todas as áreas funcionais da empresa. Essa integração se dá tanto no ambiente interno quanto externo.

Dentro deste contexto a gestão de estoques nas empresas tem grande importância para um fluxo de materiais eficiente, onde seja garantido o bom atendimento ao cliente final, sem que haja desperdícios e estoques escassos e excedentes ao longo da cadeia.

2 - Controle de Estoque Multicamada

Fizemos uso do modelo de Moinzadeh (2001) que aborda o tema da gestão de estoque multicamada com o intuito de minimizar o custo relevante total. As variáveis de decisão são R (ponto de reposição dos varejistas), M (número de lotes de tamanho Q alocados inicialmente no fornecedor) e s (desvio de segurança para o fornecedor). O modelo segue a política de estoques (Q,R) , um sistema de revisão contínua da posição do nível de estoque atual. O sistema de estoques funciona como se segue.

O estoque disponível sofre variações de acordo com a demanda, e a cada momento que um item é retirado deste estoque, o nível atual é comparado com o nível de reposição R . Encomenda-se para o fornecedor uma quantidade fixa Q assim que o nível de estoque se aproximar de R . O fornecedor, por sua vez, antecipa seu pedido com a parcela s . Este faz seu pedido para a fonte externa quando o ponto de pedido de cada varejista atinge $R+s$. De acordo com Hadley e Within (1963), os custos relevantes nesse sistema são os custos de encomendar, manter e de faltar (os custos que variam com as variáveis de decisão Q e R). A otimização desse sistema é feita pela minimização do valor esperado do custo total por unidade de tempo.

O exemplo numérico utilizado tem as respectivas considerações: trabalhamos com uma cadeia de suprimentos que consiste em um único fornecedor, M varejistas e um único produto. Nosso objetivo foi determinar os valores das variáveis desconhecidas R , m e s para assim minimizar o custo relevante total $TC(R, m, s)$. Uma simplificação foi feita: supõe-se que a variável τ do modelo em [1], que representa o intervalo de tempo entre as encomendas do fornecedor e dos varejistas, segue a distribuição exponencial com parâmetro conhecido.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos dados e variáveis de decisão do modelo estudado.

Tabela 1 - Dados do modelo de minimização de TC(Moinzadeh, 2001)

Dados Estipulados		
Notação	Valor	Unidade
M (nº varejistas)	2	varejistas
h (custo de estocagem no varejista)	R\$ 0.70	R\$/unidade/tempo
Q (tamanho do lote)	20	unidade do item
λ (taxa média da demanda)	1	lote/tempo
L (tempo de transporte do fornecedor ao varejista)	2	unidade de tempo
L_0 (tempo de espera da fonte externa ao fornecedor)	1	unidade de tempo
h_0 (custo de estocagem no fornecedor)	R\$ 0.50	R\$/unidade/tempo
π (custo unitário de pedido pendente)	R\$ 7.00	R\$/unidade/tempo
T_m (Tempo médio entre ocorrências / pedidos)	5	unidade de tempo

Esses dados foram estipulados para que pudéssemos encontrar valores para as variáveis de decisão do modelo (R , m e s) que minimizam o custo relevante total. Além disso, eles serviram para fazermos a análise de sensibilidade mais adiante de cada parâmetro. Isto é, fixamos alguns parâmetros nesses valores estipulados e variamos o valor do parâmetro desejado, e com isso avaliamos o impacto no custo relevante total, e mais tarde, em cada um dos custos (encomendar, manter e de faltar).

É importante ressaltar a expressão do custo total composto (custo de cada varejista e custo de armazenagem do fornecedor), qual seja:

$$TC(R,m,s) = M \left\{ h \left[\frac{Q+1}{2} + R - \lambda (E(\omega) + L) \right] + (h + \pi) B(R,m,s) \right\} + M h_0 \lambda E(\nu)$$

$$\text{onde } B(R,m,s) = \frac{1}{Q} \left\{ \sum (u - R - 1) G(u) - \sum (u - R - Q - 1) G(u) \right\}.$$

Temos então que:

$$TC(R,m,s) = M \left\{ h \left[\frac{Q+1}{2} R - \lambda (L + L_0) \right] + (h + \pi) B(R,m,s) + h_0 E(\tau) + (h - h_0) \lambda \int F(\zeta) d\zeta \right\},$$

onde $\frac{Q+1}{2}$ é o nível médio aproximado do estoque; $R - \lambda (E(\omega) + L)$ é o estoque de segurança; $(h + \pi) B(R,m,s)$ é o custo de falta e $M h_0 \lambda E(\nu)$ é o custo esperado de estocagem no fornecedor.

Vale observar que π é um parâmetro de custo de backorder. O custo de encomendar não é inserido na equação, pois é um custo fixo do modelo (já que a quantidade pedida é sempre a

mesma Q , [1]). Com esses dados da tabela aplicamos o modelo proposto por Moinzadeh (2001) e, após fazer os devidos somatórios no Excel para encontrar o valor de R , chegamos que $B(R, m, s) = 0$. Em seguida, a função cumulativa complementar da demanda do varejista $G(u)$ é também calculada, achando-se o valor de 0,632121. Assim, chegamos finalmente a expressão de custo relevante total dependente somente da variável R . Minimizamos então essa equação com uso da ferramenta solver e encontramos que o ponto de mínimo de $TC(R, m, s) = 1,4 R + 13,04$, que é $R=0$.

As variáveis de decisão do modelo estão então definidas na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis de Decisão do Modelo (Moinzadeh, 2001)

Variáveis de Decisão do Modelo			
Variável	Intervalo Estipulado	Valor Encontrado	Unidade
R (ponto de pedido do varejista)	A ser encontrado através da minimização da equação de custo	0	unidades do item
m (nº de lotes alocados inicialmente no ponto de pedido)	M	2	unidades do lote
s (estoque de segurança do fornecedor)	(0, Q-1)	[0,19]	unidades do item

Seguem os valores intermediários calculados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores Intermediários Calculados

Notação	Fórmula	Valor
α (parâmetro da exponencial)	$1 / T_m$	0.2
$E(\tau)$	$1/\alpha$	5
Relações complementares	π/h	10
	$(Q+1)/2$	10.5
	$L+L_0$	3
	$h+\pi$	R\$ 7.70
	$h_0*\lambda*E(\tau)$	R\$ 2.50
	$h-h_0$	R\$ 0.20
	$\lambda*(L+L_0)$	3
Prob. Acumul de Poisson	$P(x,\lambda(L+L_0))$	0.423190081
Função Complem de τ , com $\tau > 0$	$1 - e^{-\alpha\tau}$	0.632120559
Função Complem Exponencial de L_0	$1 - e^{-\alpha L_0}$	0.181269247
Função Complem Exponencial de 0	De acordo com a distribuição	0
Elemento do TC(R,m,s)	$(Q+1)/2 + R - \lambda*(L+L_0)$	7.5
Elemento do TC(R,m,s)	$h* ((Q+1)/2 + R - \lambda*(L+L_0))$	R\$ 5.25
Custo de Falta e Excesso	$(h+\pi)*B(R,m,s)$	R\$ -
Integral para Cálculo de G(u)	Integral de $[P(x-1, \lambda*(L+L_0-\tau))*F(\tau)]$ de 0 a L_0	0.073596375
Prob .Acumul de Poisson	$P(x-1, \lambda* (L+L_0-L_0))$	0.40600585
Prob. Acumul de Poisson	$P(x-1, \lambda*(L+L_0-0))$	0.199148273
Integral elemento 1	$P(x-1, \lambda* (L))*F(L_0)$	0.073596375
Integral elemento 2	$P(x-1, \lambda*(L+L_0))*F(0)$	0
Distrib cumul. compl. da demanda do varejista durante o tempo de espera	$G(u)$	0.349593707
Falta	$B(R, m,s)$	0

Para achar u , temos que calcular o somatório de $B(R, m, s)$, dividindo-o em dois somatórios. Em cada somatório, as parcelas são definidas com o valor de u e de $G(u)$. Fazendo $G(u) = G(x)$, cada parcela ficará em função da variável R .

- Primeiro somatório:

$$\sum_{u=R+1}^{\infty} (u - R - 1)G(u)$$

- Segundo somatório:

$$- \sum_{u=R+Q+1}^{\infty} (u - R - Q - 1)G(u)$$

Com isso, obtivemos TC em função de R para ser minimizado, como já fizemos. Geramos o Gráfico 1 com os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Custo relevante total conforme variação de R

R	TC(R, m, s)
0	R\$ 13.04
1	R\$ 14.44
2	R\$ 15.84
3	R\$ 17.24
4	R\$ 18.64
5	R\$ 20.04
-1	R\$ 11.64
-2	R\$ 10.24
-3	R\$ 8.84
-4	R\$ 7.44
-5	R\$ 6.04



Gráfico 1 Evolução do custo relevante total conforme variação de R

Esse gráfico da evolução do valor do Custo Relevante Total conforme variação de R (com base na Tabela 4) nos revela exatamente o ponto de mínimo já encontrado através da ferramenta Solver do Excel. O ponto de mínimo é $R=0$ com custo relevante total de 13,04 reais, conforme os dados estipulados na Tabela 1.

Analisando as outras variáveis que de fato influenciam o custo total relevante, observamos que:

- Quanto maior o número de varejistas no sistema, maior o custo total. Isso é facilmente entendido já que o estoque está mais descentralizado, logo mais alto é o custo de estoque. Veja o Gráfico 2 feito com base nos dados da Tabela 5.
- O desvio padrão vai diminuindo.
- O estoque concentrado é menor que o disperso.
- Quanto mais disperso o estoque, mais rápido é o processo de atender a encomenda. Por outro lado, pode não haver o produto em num depósito, mas ter em outro. Aumentando o estoque total, aumenta-se consequentemente o custo total do sistema.

Tabela 5 - Variação do custo total conforme número de varejistas

Número de varejistas	Custo
2	13.04
3	18.29
4	23.54
5	28.79
6	34.04
7	39.29
20	107.54
100	527.54
800	4202.54

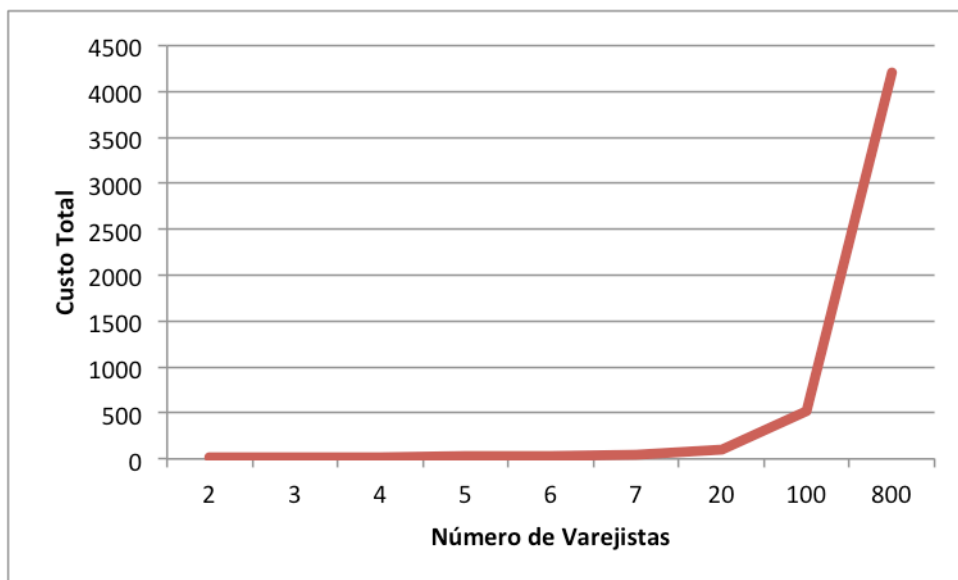


Gráfico 2- Custo Total relevante versus Número de Varejistas(Varejo)

- A taxa média de demanda é também relevante para o cálculo do custo relevante total. Quanto mais lotes são demandados por tempo, maior o custo total relevante. Isto pode ser observado no Gráfico 3 com base nos dados da Tabela 6.

Tabela 6 - Variação do custo relevante total conforme taxa média da demanda (λ)

Taxa média de demanda	Custo
1	13.03625385
10	13.36253849
50	14.81269247
100	16.62538494
150	18.43807741
200	20.25076988
250	22.06346235
300	23.87615482
350	25.68884728
400	27.50153975

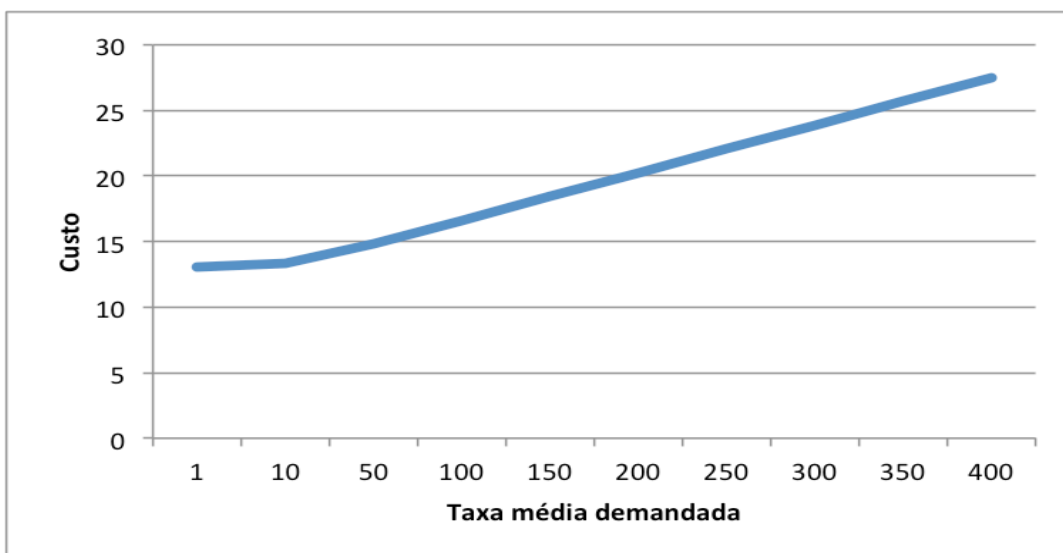


Gráfico 3 - Custo relevante total versus taxa média da demanda (λ)

3- Análise de Sensibilidade

Para avaliar a sensibilidade de cada variável presente no modelo estudado de maneira mais eficiente, podemos analisar separadamente a influência sobre cada custo que constitui o custo relevante total.

3.1 -Número dos Varejistas no sistema

O número de varejistas influencia fortemente o custo de estocagem dos varejistas. Já que quanto mais varejistas há no sistema, mais estoques descentralizados e mais estoques de segurança estão presentes em cada varejista, aumentando o nível de estoque total no sistema, e consequentemente aumentando o custo total do sistema. Na Tabela 7 são apresentados os valores do custo de estocagem nos varejistas de acordo com o número de varejistas considerado no sistema. O gráfico correspondente é apresentado no Gráfico 4.

Tabela 7- Variação do custo de estocagem nos varejistas conforme número de varejistas

Custo de estocagem nos varejistas	Varejistas
R\$10.50	2
R\$52.50	10
R\$525.00	100
R\$1,050.00	200
R\$1,575.00	300
R\$2,100.00	400
R\$5,250.00	1000

O custo de falta não é alterado pelo número de varejistas.

Gráfico 4 - Custo dos Varejistas versus Número de Varejistas

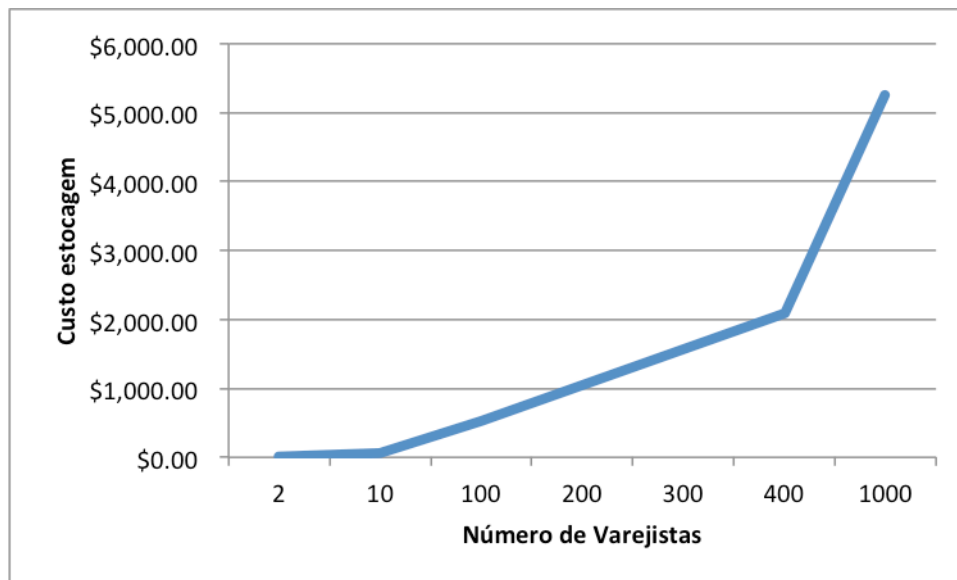


Tabela 8 - Variação do custo estocagem no fornecedor conforme número de varejistas

Custo de estocagem	Varejistas
R\$5.07	2
R\$10.15	4
R\$15.22	6
R\$25.36	10
R\$253.63	100
R\$507.25	200
R\$760.88	300
R\$2,536.25	1000

O custo de estocagem no fornecedor também aumenta com o aumento do número de varejistas, pois ele deverá aumentar seu estoque para atender todos os varejistas, e um estoque maior eleva o seu custo.

3.2 – Taxa média da demanda(λ)

O custo de falta não sofre qualquer alteração com o aumento da taxa média de demanda, já que na sua expressão essa taxa não aparece. O custo de estocagem do fornecedor é apresentado no Gráfico 5 com base nos dados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Custo de Estocagem Varejistas *versus* taxa média da demanda

Custo estocagem varej/ss	Tx media demanda
0.072507699	1
0.725076988	10
1.450153975	20
3.625384938	50
7.250769877	100
14.50153975	200
21.75230963	300
29.00307951	400
36.25384938	500

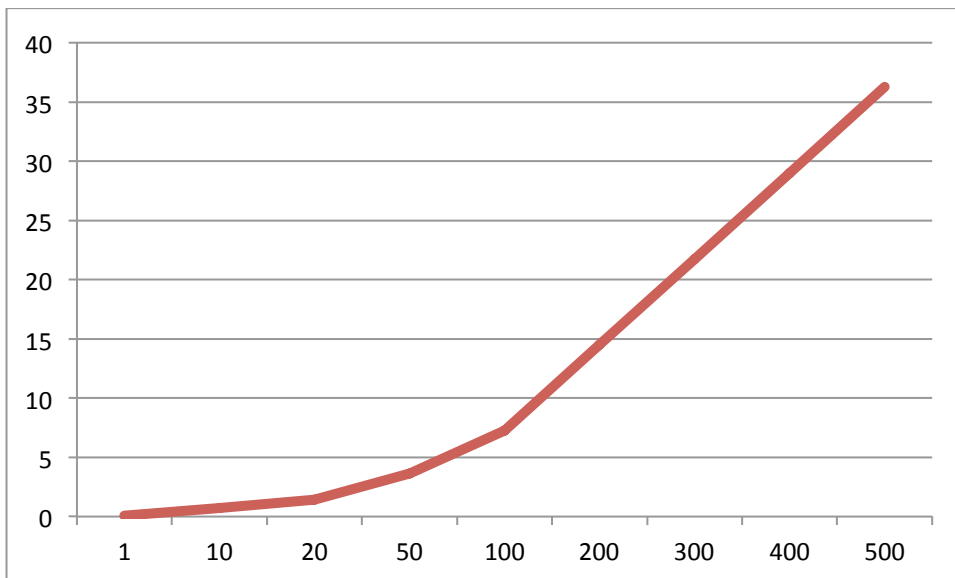


Gráfico 5 - Custo de estocagem no fornecedor *versus* taxa média da demanda (λ)

O custo total sobe, mas o custo unitário por lote cai, porque ele fica menos tempo em estoque, resultando na redução do giro de estoque (tempo em estoque).

3.3 – Tamanho do lote (Q)

Não há influência de Q no custo de falta nem no custo de estocagem do fornecedor. A estocagem do fornecedor é tão ampla que o tamanho do lote não influencia de maneira significativa. Enquanto que para os varejistas um tamanho de lote maior implica em custos de estocagem maiores como pode ser observado no Gráfico 6 .

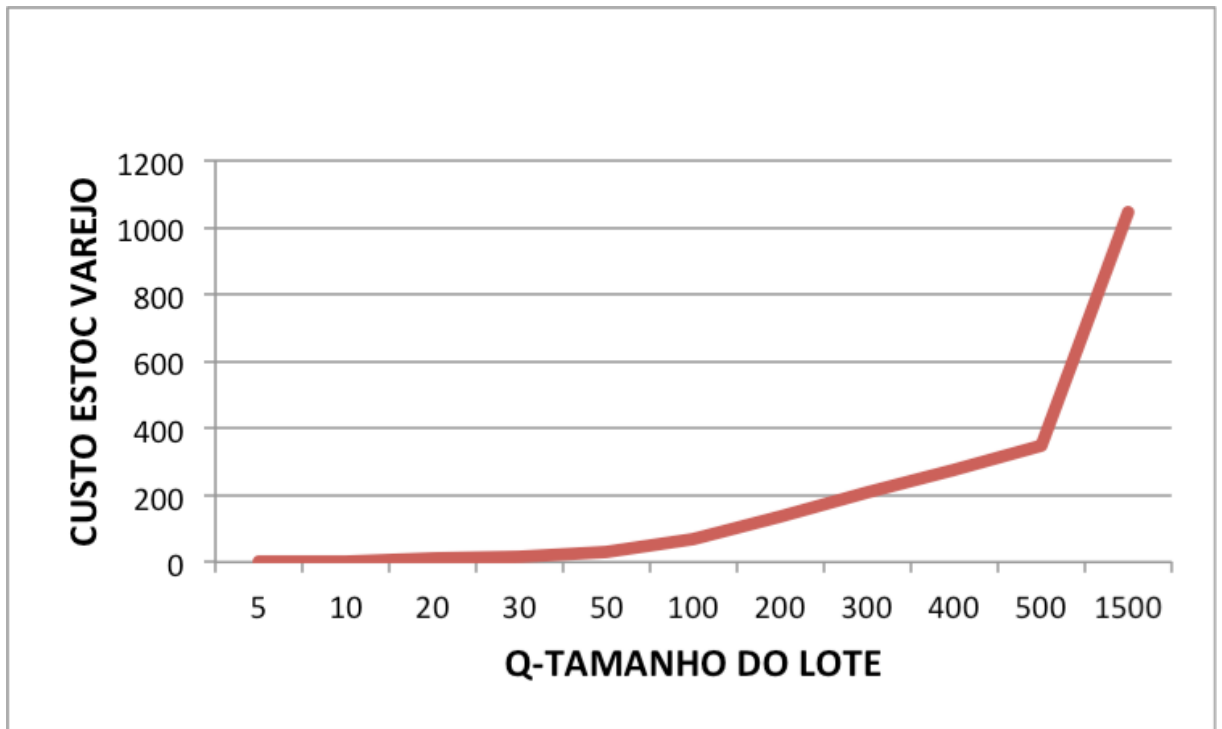


Gráfico 6- Custo de Estocagem nos Varejistas *versus* Tamanho do lote Q

3.4 –Ponto de pedido do varejista (R)

R influencia o custo de estocagem do varejista. A velocidade de venda e o tempo de reposição são fatores limitantes nessa situação. Se o estoque de segurança aumenta, o custo de estocagem também aumenta. O custo de estoque aumenta conforme o aumento do ponto de pedido, conforme o Gráfico 7.

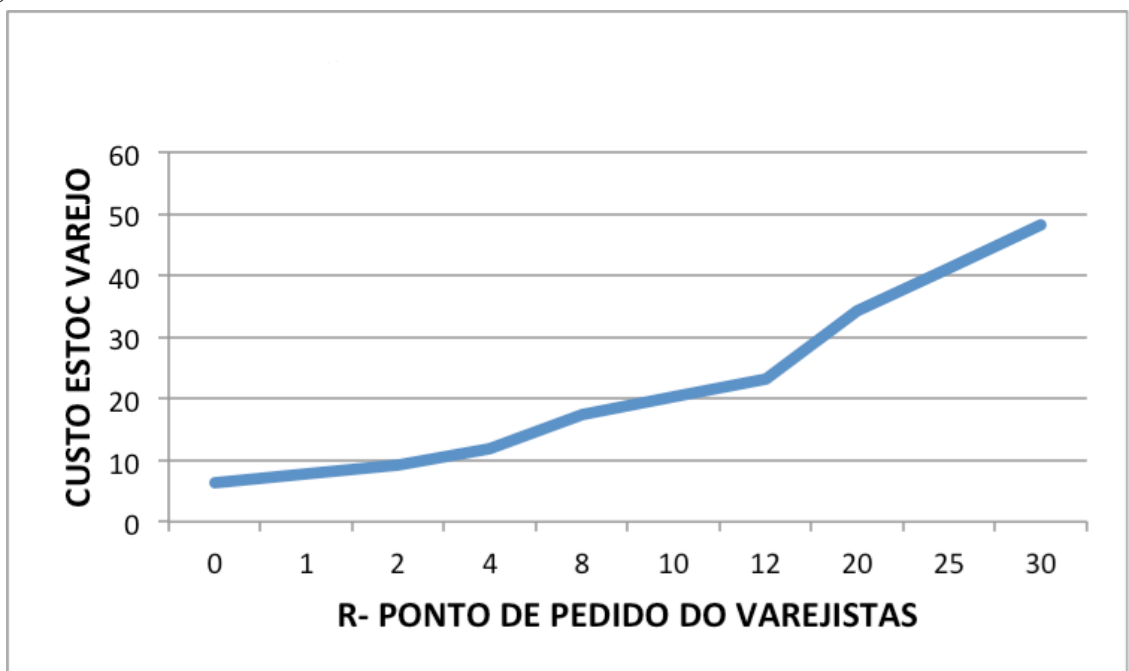


Gráfico 7 - Custo de estocagem dos varejistas *versus* ponto de reposição

3.5 -Tempo entre Pedidos (T_o)

T_o não influencia o custo de estocagem varejistas e o custo de falta. Quanto menor o tempo entre pedidos, menor é o tempo de giro e consegue-se também reduzir o nível de estoque de segurança. Com um intervalo grande entre pedidos, as incertezas da demanda podem gerar erros em toda a cadeia.

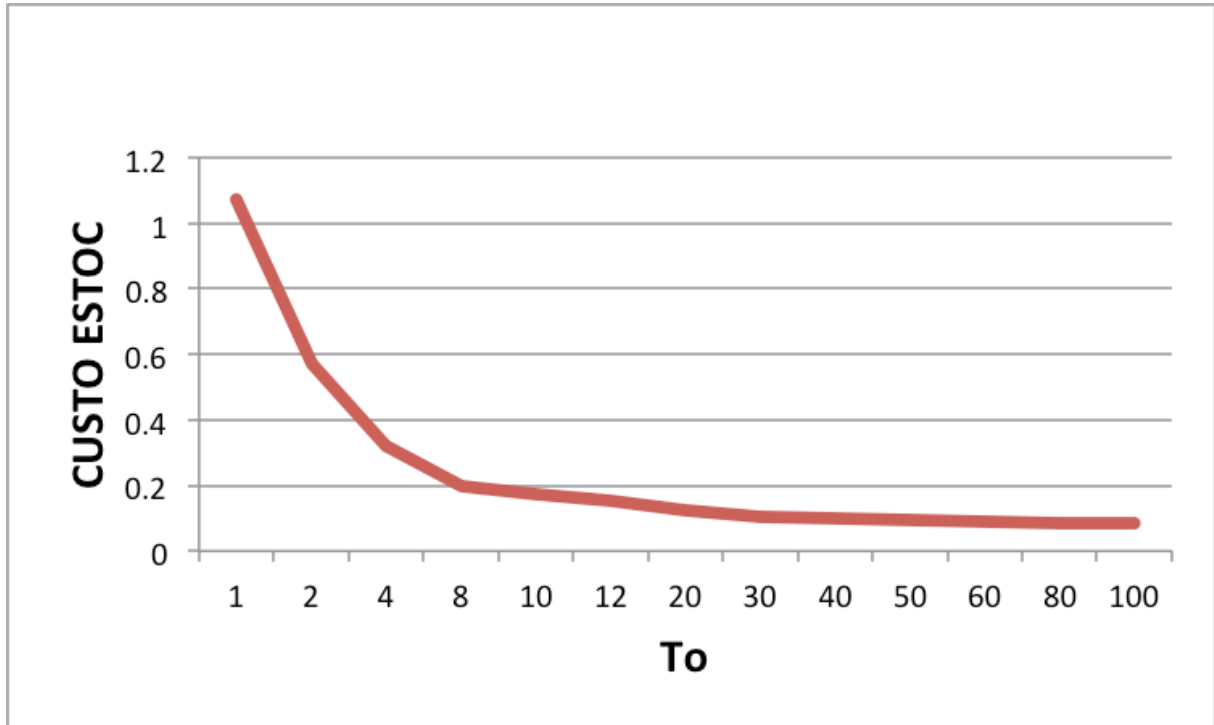


Gráfico 8 - Custo de estocagem no fornecedor *versus* tempo entre pedidos (T_o)

No Gráfico 9 temos uma representação da variação dos custos de estocagem no período e o custo de colocação do pedido no período em função do tamanho do lote. Verifica-se que o lote que minimiza o custo relevante total é o ponto de interseção entre a reta do custo de colocação do pedido com a do custo de estoques.

Quando existe estoque em excesso, menor será a probabilidade de faltas e conseqüentemente o custo da falta será menor, porém o custo com estoques é alto. Por outro lado manter níveis de estoques abaixo do necessário pode gerar muitas faltas, o que acarretará altos custos de falta de estoques, apesar do custo de estoque ser menor.

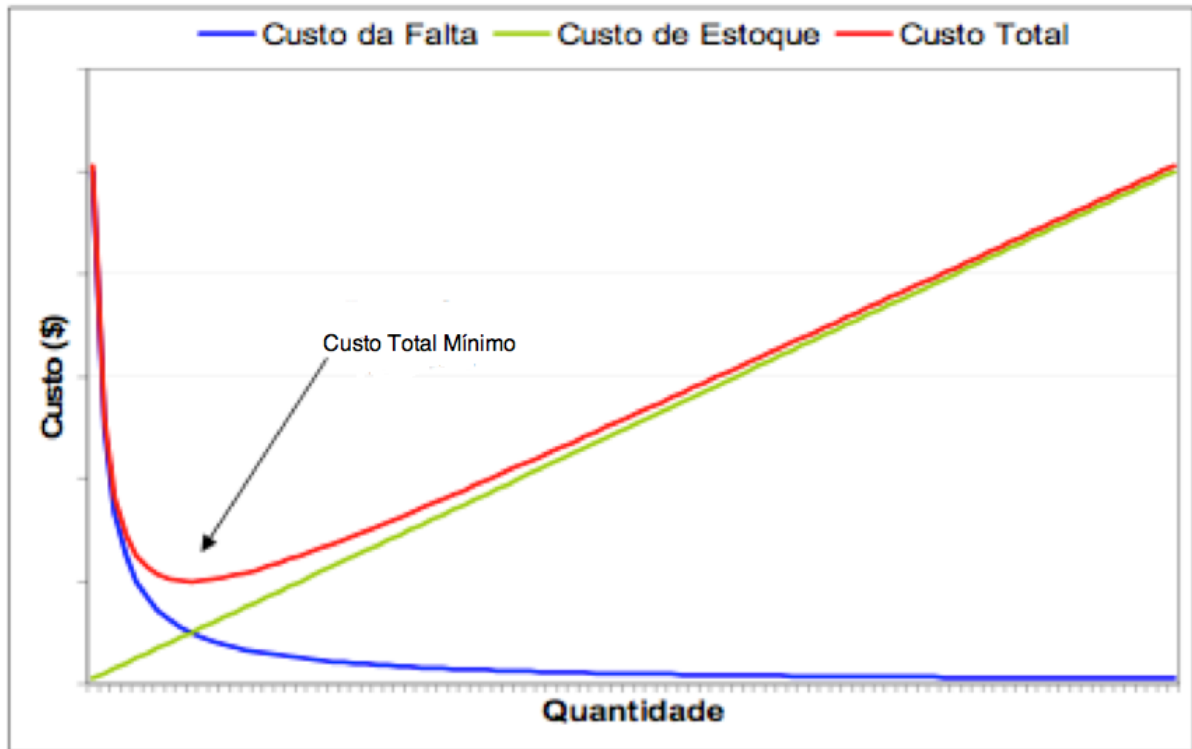


Gráfico 9 - Custos versus quantidade do produto

O grande desafio da gestão de estoques é equilibrar o conflito entre custo de estoques com um nível de serviço aceitável, que são objetivos conflitantes. O que as empresas buscam é manter o nível de serviço ao cliente aceitável com o menor estoque médio possível. Por isso, a importância de realizar medições constantes desses dois indicadores, [2].

4- Relações Relevantes

Com o estudo do modelo, algumas relações relevantes foram encontradas e a partir do conhecimento das mesmas, podemos achar formas de reduzir o custo total indiretamente.

4.1- Relação Tempo de Reposição versus Estoque de Segurança

Quanto maior o tempo de reposição, maior o impacto da incerteza da demanda e conseqüentemente maior o estoque de segurança.

4.2 -Relação Estoque de Segurança versus Incerteza da Demanda

O estoque de segurança também sofre influência da incerteza da demanda, ou seja, quanto mais incerta a demanda do item, maior será o estoque de segurança necessário para atender

possíveis aumentos de demanda. Em outras palavras, quanto maior a incerteza da demanda, maior será o desvio padrão, que a mede. Portanto, chegamos a conclusão de que o tempo de reposição é um parâmetro relevante e encontrando maneiras de reduzi-lo, poderá reduzir o custo total médio.

4.3 - Formas de redução do tempo de reposição

Fornecedores e clientes vêm buscando melhores formas de integração ao longo da cadeia de suprimentos, visando reduzir estoques e melhorar o serviço ao cliente. No âmbito fabricante-varejista surgiram ferramentas de apoio, como por exemplo: ECR (Resposta Eficiente ao Consumidor), CRP (Programa de Reposição Contínua), VMI (*Vendor Managed Inventory* ou Estoque Gerenciado pelo Fornecedor), CPFR (Reposição, Previsão e Planejamento Colaborativo). Já no âmbito fabricante-fornecedor surgiu o sistema de gerenciamento da produção JIT (just-in-time). O desenvolvimento de processos gerenciais para cada tipo de relacionamento possibilita alcançar maior eficiência no planejamento e tomada de decisões referentes a gestão de estoques. É importante ressaltar que a redução do tempo de reposição não é o único objetivo destes programas que também buscam, através de uma maior integração entre os parceiros de uma mesma cadeia, reduzir estoques, custos, e garantir melhores níveis de serviço ao cliente. Com este sistema JIT, o produto ou matéria-prima chega ao local de utilização somente no momento exato em que for necessário. Os produtos somente são fabricados ou entregues a tempo de serem vendidos ou montados. O conceito desse sistema está relacionado ao de produção por demanda, onde primeiramente vende-se o produto para depois comprar a matéria-prima e posteriormente fabricá-lo ou montá-lo. Nas fábricas onde está implementado, o stock de matérias-primas é mínimo e suficiente para poucas horas de produção. Para que isto seja possível, os fornecedores devem ser treinados, capacitados e conectados para que possam fazer entregas de pequenos lotes na frequência desejada, [2].

5- Considerações Finais

Para fazer uma análise de sensibilidade com o intuito de avaliar a relevância e o impacto de cada parâmetro no custo total, observamos que calcular o impacto de cada parâmetro sobre cada custo individual ou cada parcela no custo total revelaria mais informações. No modelo do custo total são considerados o custo de estocar, o custo de faltar e o custo de manter. Os parâmetros que mais influenciaram o custo de estocar são o número de varejistas no sistema, a taxa média da demanda (λ) e o ponto de pedido do varejista (R). Quanto ao custo de manter o parâmetro tamanho do lote (Q) é relevante. Num segundo momento, obtivemos uma representação gráfica da variação dos custos de estocagem no período e o custo de colocação do pedido no período em função do lote. Verificamos que o lote que minimiza o custo relevante total é o ponto de interseção entre a reta do custo de colocação do pedido com a do custo de estoques. Sendo o grande desafio da gestão de estoques o equilíbrio do conflito entre custo de estoques com um nível de serviço aceitável, as empresas buscam manter o nível de serviço ao cliente aceitável com o menor estoque médio possível. Por isso a importância de realizar medições constantes desses dois indicadores. Finalmente, chegamos a duas relações

importantes para analisar: tempo de reposição *versus* estoque de segurança e estoque de segurança *versus* incerteza da demanda. Devido ao grande impacto do tempo de reposição, obtivemos algumas formas de reduzi-lo. No âmbito fabricante-varejista surgiram: **ECR** (Resposta Eficiente ao Consumidor), **CRP** (Programa de Reposição Contínua), **VMI** (Vendor Managed Inventory ou Estoque Gerenciado pelo Fornecedor), **CPFR** (Reposição, Previsão e Planejamento Colaborativo), etc. Já no fabricante-fornecedor surgiu o **JIT** (*just-in-time*). Estas ferramentas de gestão e controle possibilitam maior eficiência das empresas em seu planejamento e tomada de decisões. É importante ressaltar que a redução do *TR* não é o único objetivo destes programas que também buscam através de uma maior integração entre os parceiros de uma mesma cadeia reduzir estoques, custos, e garantir melhores níveis de serviço ao cliente, [3].

6- Conclusão

A importância da gestão de estoques para o bom funcionamento das empresas e sua competitividade fica evidente neste estudo. O objetivo principal, que é buscar o equilíbrio entre os níveis de estoque e o nível de serviço ao cliente, é alcançado através da elaboração de políticas de gestão de estoques aderentes à empresa em questão. Além da importância de uma política de gestão de estoques e dos cálculos dos principais parâmetros envolvidos, é necessário que os gestores estejam com a preocupação constante de aumentar a confiabilidade de suas previsões de demanda, negociar com seus fornecedores a redução dos tempos de entrega e investir em programas de qualidade para assegurar uma gestão com estoques adequados e maiores níveis de serviço ao cliente. Fica claro também a importância da redução do tempo de reposição já que ele influencia fortemente os custos de estocagem e outros parâmetros, que por sua vez também influenciam os custos de estocagem e de falta. Um tempo de reposição menor poderá implicar em menores estoques totais contribuindo com menores custos.

Referências

- 1 - Moinzadeh, K. (2001). A Multi-Echelon System with Information Exchange. Management Science vol. 48 no. 3 414-426.
- 2 - Snyder, L. (2008). Multi-Echelon Inventory Optimization: An Overview. Lehigh University.
- 3- Hadley, G. e Whitin T. (1963). Analysis of Inventory Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.