

# CONSIDERAÇÕES SOBRE DIAGRAMA TORNADO EM ANÁLISE DE SENSIBILIDADE VIII INIC / IV EPG - UNIVAP '2004

**Roterdan Moura da Silva <sup>1</sup>, Mischel Carmen Neyra Belderrain <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica,  
roterdan05@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica,  
carmen@mec.ita.br

**Palavras-chave:** Análise de Decisão, Análise de Sensibilidade, Diagrama Tornado

**Área do Conhecimento:** Ciências Exatas e da Terra

**Resumo** - Na metodologia da Análise de Decisão, o estudo da Análise de Sensibilidade é de suma importância para a análise de novos cenários. A análise de sensibilidade pode ser realizada considerando dois aspectos: (a) examinando o impacto de mudanças *in base-case assumptions*. Por exemplo, a sensibilidade do valor da variável dependente devido à mudanças dos valores das variáveis independentes, e (b) examinando o impacto do valor do *pay-off* devido à mudanças dos valores das probabilidades de ocorrência dos eventos aleatórios num problema de análise de decisão. O objetivo deste trabalho é apresentar uma técnica gráfica conhecida como Diagrama Tornado que facilita a análise de sensibilidade do aspecto (a) acima citado. Esta técnica auxiliada pelo programa computacional *Top Rank* é de fácil implementação.

## Introdução

Análise de Sensibilidade é uma etapa muito importante na metodologia de Análise de Decisão. De modo geral, a análise de sensibilidade é utilizada para: (1) tomar melhores decisões, (2) decidir quais dados estimados devem ser refinados antes de tomar uma decisão e, (3) concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação ESCHENBACH [1].

Por outro lado a análise de sensibilidade pode ser realizada considerando dois aspectos: (a) examinando o impacto de mudanças *in base-case assumptions*. Por exemplo, a sensibilidade do valor da variável dependente devido à mudanças dos valores das variáveis independentes, e (b) examinando o impacto do valor do *pay-off* devido à mudanças dos valores das probabilidades de ocorrência dos eventos aleatórios num problema de análise de decisão.

O Diagrama Tornado permite realizar a Análise de Sensibilidade de cada variável em um conjunto de muitas variáveis, comparando as mesmas. Tendo um conjunto de valores máximo e mínimo de cada variável, escolhe-se uma específica variável para determinar os impactos totais que os valores máximo e mínimo dessa variável causam no resultado final. Dessa forma, ordenam-se as variáveis de acordo com a sua importância para o resultado final. O Diagrama Tornado pode sumarizar o impacto total de muitas variáveis independentes.

Em Análise de Decisão, o analista deve considerar:

1. Os limites de mudança razoáveis para cada variável independente;
2. O impacto unitário dessas mudanças no valor final a ser analisado;
3. O máximo impacto de cada variável independente no resultado final;
4. O total de mudança requerida por cada variável independente para atravessar a curva *break-even*.

## Materiais e Métodos

O Diagrama Tornado é baseado na equação do modelo e na relativa análise de sensibilidade. A partir da equação matemática do modelo que gera o resultado final, tomam-se os valores esperados de todas as variáveis, com exceção a variável a ser analisada. Os valores esperados das variáveis e o valor máximo da variável analisada são substituídos na equação do modelo, obtendo-se um dos limites dessa variável no resultado final. Para ser obtido o outro limite, substitui-se o valor mínimo da variável analisada ao invés do máximo valor. Dessa forma, determina-se a extensão total de mudança que uma variável independente causa no resultado final.

Para construção do Diagrama Tornado, deve-se proceder de forma semelhante para todas as

variáveis independentes. Conhecendo-se as extensões totais de todas as variáveis, estrutura-se um gráfico com eixo horizontal representando a variação no resultado final e o eixo vertical contendo todas as variáveis independentes, posicionadas acima conforme a sua maior extensão. As extensões das variáveis são representadas por barras horizontais, limitadas por seus valores no eixo horizontal. As variáveis de maior extensão são, sobretudo, as mais indicadas para análise, pois possuem grande influência no resultado final.

Neste trabalho será utilizado o software *Top Rank* para construir o Diagrama Tornado e analisar quais as variáveis de maior influência, e de maior interesse, para um problema decisório.

Utilizar-se-á o exemplo de Clemen [2] para facilitar a compreensão dos conceitos de análise de sensibilidade e da utilização do Diagrama Tornado.

Suponha que uma empresa aérea está considerando a compra de mais uma aeronave com o objetivo de aumentar a sua lucratividade. No problema, existem várias variáveis que influenciam o resultado final lucro. Essas variáveis apresentam valores máximo e mínimo, de modo que o resultado final lucro altera-se para cada valor considerado. As variáveis do problema são apresentadas na Tabela 1, a seguir:

**Tabela 1 – Intervalos de valores estimados para as variáveis consideradas**

Variável	Valor Base	Valor Mínimo	Valor Máximo
Horas de Voo	800	500	1000
Preço Charter	\$325	\$300	\$350
Preço Passagem	\$100	\$95	\$108
Taxa de Ocupação	50%	40%	60%
Proporção de Vãos Charter	0,50	0,45	0,70
Custo Operacional	\$245	\$230	\$260
Seguro	\$20.000	\$18.000	\$25.000
Proporção Financiada	0,40	0,30	0,50
Taxa de Juros	11,5%	10,5%	13%
Preço da Aeronave	\$87.500	\$85.000	\$90.000

## Resultados

A equação do modelo, que determina o resultado final lucro é construído em função das variáveis da Tabela 1, e é definida como:

$$\text{Lucro} = \text{Receita Total} - \text{Custo Total}$$

$$\begin{aligned} \text{Receita Total} &= \text{Receita dos Vãos Charter} + \text{Receita dos Vãos Convencionais.} \\ &= (\text{Porcentagem de Vãos Charter} \times \text{Horas de Voo} \times \text{Preço Charter}) + [(1 - \text{Porcentagem de Vãos Charter}) \times \text{Horas de Voo} \times \text{Preço dos Bilhetes} \times \text{Taxa de Ocupação} \times \text{Número de Assentos nas Aeronaves}] \end{aligned}$$

$$\text{Custo Total} = (\text{Horas de Voo} \times \text{Custo Operacional}) + \text{Seguro} + (\text{Preço da Aeronave} \times \text{Porcentagem de Capital Financiada} \times \text{Taxa de Juros})$$

A seguir será apresentada a metodologia do Diagrama Tornado para resolver o problema de Análise de Decisão utilizando o software *Top Rank*.

### Passo 1: Inicializar o *Top Rank*

1. Abra o Excel e o *Top Rank*, abilitando todos os macros requeridos. A barra de ferramentas do *Top Rank* será adicionada à barra de ferramentas do Excel.
2. Construa o modelo de Análise de Decisão considerando as variáveis e seus valores no Excel, conforme a tabela abaixo. As equações do modelo decisório são colocadas nas células B13, B14 e B15, obtendo-se os valores monetários. Temos as equações:  

$$B13 = (B2 \times B3 \times B6) + ((1 - B6) \times B2 \times B4 \times B5 \times 5)$$

$$B14 = (B2 \times B7) + B8 + (B11 \times B9 \times B10)$$

$$B15 = B13 - B14$$

	A	B
1	<b>Variáveis</b>	<b>Valor base</b>
2	Horas de Voo	800
3	Preço Charter	\$325
4	Preço Passagem	\$100
5	Taxa de Ocupação	50%
6	Proporção de Vãos Charter	0.5
7	Custo Operacional	\$245
8	Seguro	\$20,000
9	Proporção Financiada	0.4
10	Taxa de Juros	11.50%
11	Preço da Aeronave	\$87,500
12		
13	Renda Total	\$230,000
14	Custo Total	\$220,025.00
15	Lucro	\$9,975.00

### Passo 2: Determinação de Output

1. Selecione a célula B15 e clique no botão *Add Output* na barra de ferramentas do *Top Rank*

### Passo 3: Realizar Análise de Sensibilidade

1. Clique no botão *Run What-If Analysis* na barra de ferramentas do *Top Rank*
2. Clique no botão *Actuals*, que está na janela *Results*, e os valores de mudança percentual são substituídos por valores monetários.
3. Para retornar aos valores percentuais, clique no botão *Percent %* na janela *Results*

4. Clique no botão *Detail* para observar as variáveis que apresentam variação percentual de +20% e -20%. Para essas variáveis aparecem setas azuis em sentido positivo e setas vermelhas em sentido negativo.
5. Clique no botão *Summary* para mostrar apenas os valores máximos e mínimos de cada variável.
6. Clique no botão *Graph*, que está acima da janela *Results*. Em seguida, surgirá uma janela com as seguintes opções de gráficos: *tornado graph*, *spider graph*, *sensitivity graph*. Selecione a opção *tornado graph* e clique em OK, e surgirá o Diagrama Tornado do problema considerado com os valores das variáveis variando do valor base de -10% a +10%.

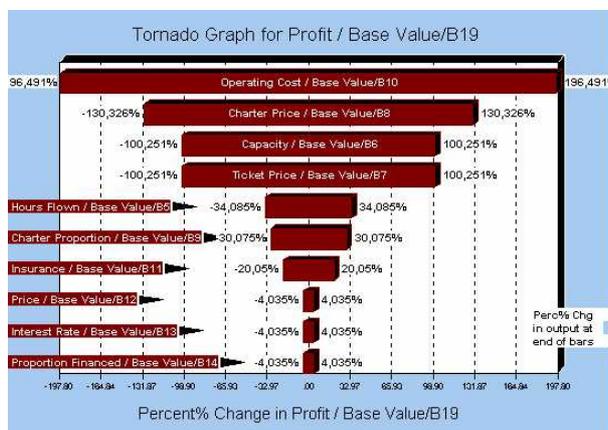


Figura 1 - Diagrama Tornado de Variáveis entre -10% e +10% do valor base

Passo 4: Retorno ao Excel

1. Feche todas as janelas com gráficos. Para retornar ao Excel, minimize a janela do *Top Rank* ou clique no botão *Hide*.

Passo 5: Mudança de limites para as variáveis

1. Clique no botão *Step Through Input Cells* na barra de ferramentas do *Top Rank*. Aparecerá uma janela (*Step by Input*) com os campos *Range*, *Type of Range* e *Cell/Name*.
2. No campo *Type of Range*, clique em *Actual Min and Max*. No campo *Cell/Name* está indicado o nome da variável selecionada. No campo *Range*, coloque os valores numéricos, máximo e mínimo da variável, em *Maximum* e *Minimum* respectivamente.
3. Clique na seta na parte de baixo da janela e outra variável será selecionada. Proceda da mesma maneira para essa variável e todas as outras.
4. Clique em OK and *Exit* depois de ter realizado esse procedimento com todas as outras variáveis.

Passo 6: Realizar Análise de Sensibilidade com novos limites

1. Clique no botão *Run What-If Analysis*.
2. Clique no botão *Graph* na janela *Results* e selecione a opção *tornado graph*. O gráfico que será confeccionado difere do gráfico anterior em relação aos limites das variáveis.
3. Saia do *Top Rank* fechando todas as janelas.

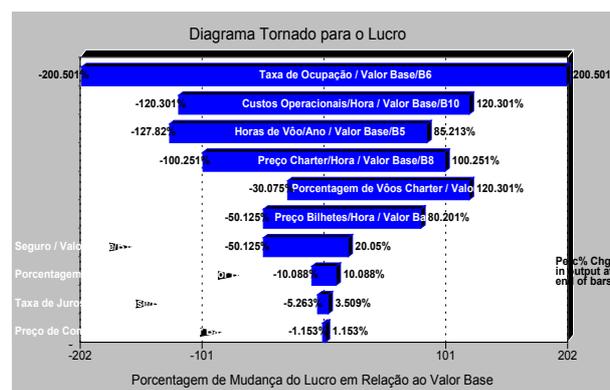


Figura 2 - Diagrama Tornado de Variáveis com limites estabelecidos

## Discussão

No Diagrama Tornado existem duas linhas verticais que servem de parâmetros para análise: linha *break-even* e linha do resultado esperado.

A linha *break-even* é a linha vertical para a qual o resultado final ou lucro líquido é nulo, ou seja, quando o volume total de custos e o volume total de lucro têm o mesmo valor. Para as variáveis em que a extensão da variável atravessa a linha *break-even*, deve-se tomar cuidado redobrado, já que determinados valores dessas variáveis geram prejuízos. Para o problema analisado, as variáveis Taxa de Ocupação, Custo Operacional, Horas de Vôo e Preço Charter atravessam a linha *break-even*.

A linha do resultado esperado representa o valor determinístico proveniente da equação matemática do modelo, ao serem substituídas todas as variáveis por seus valores base. Essa linha é atravessada por todas as extensões das variáveis e, a partir dela, pode-se comparar os limites máximos e mínimos de cada variável. Em geral, em análise de decisão, foca-se a atenção em variáveis que apresentam limites com grande distância da linha do resultado esperado, pois as mesmas podem resultar em grandes lucros ou possíveis prejuízos. Logo, para o problema analisado, deve-se focar nas variáveis Taxa de Ocupação, Custo Operacional, Horas de Vôo e Preço Charter.

## Conclusão

O Diagrama Tornado é muito útil em Análise de Sensibilidade. Esta metodologia organiza e ordena as diversas variáveis que podem influenciar um resultado final de acordo com a sua importância.

Para um decisor, essa técnica torna-se bastante útil, pois o mesmo pode focar sua atenção nas variáveis que realmente são vitais para o resultado final. O Diagrama Tornado ainda determina: (a) os resultados finais ótimo e péssimo para cada variável, (b) os limites de mudança razoáveis para cada variável independente, (c) o impacto unitário dessas mudanças no valor final a ser analisado, e (d) o total de mudança requerida por cada variável independente para atravessar a curva *break-even*. Dessa forma, o decisor pode avaliar as mudanças que ele pode realizar nas variáveis que ele dispõe.

### **Agradecimentos**

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento CNPq pela concessão de uma bolsa de Iniciação Científica.

### **Referências**

- [1] ESCHENBACH, T G., Spiderplots versus Tornado diagrams for Sensitivity Analysis; **Interfaces**, V.6, p.40 – 44, 1992.
- [2] CLEMEN R.T. Making Hard Decisions – An Introduction to Decision Analysis, Duxbury Press, 2ª edição, 1999.
- [3] BEKMAN, O. R.; Costa Neto, P. L. O.. Análise estatística da decisão. São Paulo: Edgard Blücher, 124p., 1980.
- [4] SILVA R.M., Considerações sobre Análise de Sensibilidade em Análise de Decisão, Relatório de Iniciação Científica, CNPq, 44p, 2004.