

CEC00121 - Tópicos Especiais em Pesquisa Operacional I

Aula Prática 2 - Análise de Sensibilidade em uma Planilha

Samuel Campos

Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional- Universidade Federal Fluminense (ESR/UFF)

samuelcampos@id.uff.br

2 de outubro de 2018

1 Efetuando Análise de Sensibilidade em uma Planilha

- Verificando Mudanças Individuais no Modelo
- Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade
- Usando o Relatório de Sensibilidade para Executar a Análise de Sensibilidade
- Analisando a sensibilidade em um gráfico
- Analisando Alterações Simultâneas

Seção 1

Efetuando Análise de Sensibilidade em uma Planilha

A Análise de Sensibilidade

- Mudança nos coeficientes da função objetivo (c_i);
- Mudança nos coeficientes do lado direito da restrição (b_i)

Efetuatingo Análise de Sensibilidade em uma Planilha

A Wyndor Class Co. reformulou seu mix de produção, criando 2 novos produtos que podem ser produzidos em 3 de suas fábricas

Produto 1: porta de vidro de 2,5m com esquadria de alumínio

Produto 2: janela duplamente adornada com esquadrias de madeira de 1,2m x 1,8m

- O produto 1 requer parte da capacidade produtiva das fábricas 1 e 3.
- O produto 2 deve ser produzido nas fábricas 2 e 3.
- A empresa pode vender tanto quando for possível produzir.

Pelo fato de ambos os produtos competirem pela capacidade de produção da fábrica 3 não está claro qual o mix dos 2 produtos deve ser mais lucrativo.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

- Considere o modelo original da Wyndor:

Maximizar $Z = 3x_1 + 5x_2$,

sujeito a: $x_1 \leq 4$

$2x_2 \leq 12$

$3x_1 + 2x_2 \leq 18$

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$

- x_1 : número de lotes da nova porta produzidos por semana;
- x_2 : número de lotes da nova janela produzidos por semana.

Efetuating Análise de Sensibilidade em uma Planilha

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

- $c_1 = 3$ = lucro (em milhares de dólares) por lote do novo tipo de porta
- $c_2 = 5$ = lucro (em milhares de dólares) por lote do novo tipo de janela
- Discutiremos a análise de sensibilidade em termos das mudanças nos lucros mostrados em vez das mudanças em c_1 e c_2 ;
- Representaremos esses lucros por:
 - P_D = lucro por lote de portas atualmente introduzidos na célula C4
 - P_Q = lucro por lote de janelas atualmente introduzidos na célula D4

Efetando Análise de Sensibilidade em uma Planilha

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Métodos de execução da análise de sensibilidade

- 1 Verificar o efeito de uma mudança individual no modelo simplesmente fazendo a mudança na planilha e recalculando.
- 2 Gerar sistematicamente uma tabela em uma única planilha que mostre o efeito de uma série de mudanças em um ou dois parâmetros do modelo.
- 3 Obter e aplicar o relatório de sensibilidade do Excel.

Subseção 1

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

- Suponha que a gerência da Wyndor estivesse insegura em relação a quanto seria o lucro por lote de portas (PD).
- O lucro real poderia se desviar do valor estimado de R\$3.000
 - Intervalo entre R\$ 2.000 e R\$ 5.000 é considerado razoavelmente provável

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|------------------|-------------------------------------|------------|------------|----|-------------|
| 1 | O problema de mix de produtos da Wyndor Glass Co. | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | Portas | Janelas | | | |
| 4 | | Lucro por lote | US\$ 2.000 | US\$ 5.000 | | | |
| 5 | | | | | Horas | | Horas |
| 6 | | | Horas utilizadas por lote produzido | | utilizadas | | disponíveis |
| 7 | | Fábrica 1 | 1 | 0 | 2 | <= | 4 |
| 8 | | Fábrica 2 | 0 | 2 | 12 | <= | 12 |
| 9 | | Fábrica 3 | 3 | 2 | 18 | <= | 18 |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | Portas | Janelas | | | Lucro total |
| 12 | | Lotes produzidos | 2 | 6 | | | US\$ 34.000 |

■ FIGURA 6.9 O problema revisado da Wyndor, no qual a estimativa do lucro por lote de portas foi diminuída, passando de *PD* US\$ 3.000 para *PD* US\$ 2.000, mas sem causar mudança na solução ótima para o *mix* de produtos.

Figura 1:

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

- Não há nenhuma alteração na solução ótima para o mix de produtos (Figura 1).
- Alterações:
 - O novo valor de PD na célula C4
 - Diminuição de R\$ 2.000 no lucro total (célula G12) - um dos dois lotes de portas produzidos por semana fornecer R\$ 1.000 a menos de lucro.
- Em virtude de a solução ótima não se alterar, a estimativa original de $PD = R\$ 3.000$ pode ser consideravelmente muito alta sem invalidar a solução ótima do modelo

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

- O que aconteceria se essa estimativa fosse muito baixa?
- $PD = R\$ 5.000$.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|------------------|-------------------------------------|------------|------------|----|-------------|
| 1 | O problema de mix de produtos da Wyndor Glass Co. | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | Portas | Janelas | | | |
| 4 | | Lucro por lote | US\$ 5.000 | US\$ 5.000 | | | |
| 5 | | | | | Horas | | Horas |
| 6 | | | Horas utilizadas por lote produzido | | utilizadas | | disponíveis |
| 7 | | Fábrica 1 | 1 | 0 | 2 | <= | 4 |
| 8 | | Fábrica 2 | 0 | 2 | 12 | <= | 12 |
| 9 | | Fábrica 3 | 3 | 2 | 18 | <= | 18 |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | Portas | Janelas | | | Lucro total |
| 12 | | Lotes produzidos | 2 | 6 | | | US\$ 40.000 |

■ FIGURA 6.10 O problema revisado da Wyndor, no qual a estimativa de lucro por lote de portas foi aumentada de PD US\$ 3.000 para PD US\$ 5.000, mas sem alterar a solução ótima para o mix de produtos.

Figura 2:

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

- Não há nenhuma modificação na solução ótima (Figura 2).
- O intervalo de valores de PD sobre o qual a solução ótima permanece ótima (isto é, o intervalo possível para a solução permanecer ótima) abrange o intervalo que vai de R\$ 2.000 a R\$ 5.000 e pode se estender ainda mais.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

- PD é um parâmetro relativamente insensível:
 - o valor original de PD = R\$ 3.000 ser alterado consideravelmente em ambas as direções sem modificar a solução ótima.
- Não é necessário definir essa estimativa com grande precisão para se ter confiança de que o modelo está fornecendo a solução ótima correta.
- Se houver grande possibilidade de que o verdadeiro valor de PD acabe ficando até fora desse intervalo abrangente de R\$ 2.000 a R\$ 5.000, seria interessante investigar-se mais a esse respeito.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

- Quão maior ou menor poderia ser PD antes de a solução ótima mudar?
- A solução ótima mudaria caso PD fosse alterado até atingir $PD = R\$ 10.000$.
- Essa mudança ocorre em algum ponto entre $R\$ 5.000$ e $R\$ 10.000$ durante o processo de aumento de PD.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Verificando Mudanças Individuais no Modelo

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|------------------|-------------------------------------|------------|------------|----|-------------|
| 1 | O problema de mix de produtos da Wyndor Glass Co. | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | Portas | Janelas | | | |
| 4 | | Lucro por lote | US\$ 10.000 | US\$ 5.000 | | | |
| 5 | | | | | Horas | | Horas |
| 6 | | | Horas utilizadas por lote produzido | | utilizadas | | disponíveis |
| 7 | | Fábrica 1 | 1 | 0 | 4 | <= | 4 |
| 8 | | Fábrica 2 | 0 | 2 | 6 | <= | 12 |
| 9 | | Fábrica 3 | 3 | 2 | 18 | <= | 18 |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | Portas | Janelas | | | Lucro total |
| 12 | | Lotes produzidos | 4 | 3 | | | US\$ 55.000 |

■ FIGURA 6.11 O problema revisado da Wyndor no qual a estimativa do lucro por lote de portas passou de *PD* US\$ 3.000 para *PD* US\$ 10.000, o que resulta em uma mudança da solução ótima para o *mix* de produtos.

Figura 3:

Subseção 2

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

O Solver Table

- Mostra os resultados da mudança de células e/ou certas células de saída para vários valores experimentais em uma célula de dados.
- Para cada valor experimental na célula de dados, o Solver é chamado para resolver novamente o problema.
- O Solver Table (ou qualquer outro módulo adicional comparável em Excel) oferece uma maneira sistemática de se realizar análise de sensibilidade e depois mostrar os resultados para gerentes e outros que não estão familiarizados com os aspectos mais técnicos da análise de sensibilidade.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

Usando o Solver Table

- Expanda primeiramente a planilha original (Figura 1) para fazer uma tabela com os cabeçalhos (Figuras 4).
- Na primeira coluna da tabela (células B19:B28), liste os valores experimentais das células de dados (o lucro por lote de portas). Deixar em banco a primeira linha (célula B18).
- Os cabeçalhos das colunas seguintes especificam qual saída será analisada.
 - Para cada uma dessas colunas, use a primeira linha da tabela (células C18:E18) para escrever uma equação que configure o valor em cada uma dessas células igual à célula relevante que muda ou célula de saída
 - As células de interesse são LotesdePortasProduzidas (C12), LotesdeJanelasProduzidas (D12) e LucroTotal (G12), de modo que as equações para C18:E18 sejam aquelas mostradas abaixo da planilha da Figura (4).

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|---|--|-------------------------------------|------------|-------------|----|---|
| 1 | | O problema de mix de produtos da Wyndor Glass Co. | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | Portas | Janelas | | | |
| 4 | | Lucro por lote | US\$ 3.000 | US\$ 5.000 | | | |
| 5 | | | | | Horas | | Horas |
| 6 | | | Horas utilizadas por lote produzido | | utilizadas | | disponíveis |
| 7 | | Fábrica 1 | 1 | 0 | 2 | <= | 4 |
| 8 | | Fábrica 2 | 0 | 2 | 12 | <= | 12 |
| 9 | | Fábrica 3 | 3 | 2 | 18 | <= | 18 |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | Portas | Janelas | | | Lucro total |
| 12 | | Lotes produzidos | 2 | 6 | | | US\$ 36.000 |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | Lucro por lote | Lotes ótimos produzidos | | Lucro | | |
| 17 | | de portas | Portas | Janelas | total | | Selecione estas células (B18:E28), antes de selecionar o Solver Table |
| 18 | | | 2 | 6 | US\$ 36.000 | | |
| 19 | | US\$ 1.000 | | | | | |
| 20 | | US\$ 2.000 | | | | | |
| 21 | | US\$ 3.000 | | | | | |
| 22 | | US\$ 4.000 | | | | | |
| 23 | | US\$ 5.000 | | | | | |
| 24 | | US\$ 6.000 | | | | | |
| 25 | | US\$ 7.000 | | | | | |
| 26 | | US\$ 8.000 | | | | | |
| 27 | | US\$ 9.000 | | | | | |
| 28 | | US\$ 10.000 | | | | | |

| | C | D | E |
|----|---|---------|-------------|
| 16 | Lotes ótimos produzidos | | Lucro |
| 17 | Portas | Janelas | Total |
| 18 | =LotesdePortasProduzidas=LotesdeJanelasProduzidas | | =LucroTotal |

Figura 4:

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- Selecione Solver Table do menu Suplementos (após ter instalado esse módulo adicional)
- Coloque em “Column input cell ” a célula de entrada da coluna (C4), que se refere à célula de dados que está sendo alterada na primeira coluna da tabela.
 - O campo “Row input cell” deve ficar vazio;
- Clique no botão OK.
- Para cada valor experimental listado na primeira coluna da tabela (Figura 4) para a célula de dados de interesse, o Excel recalcula o problema usando o Solver e, a seguir, preenche os valores correspondentes nas demais colunas das tabelas.
- Os números na primeira linha da tabela provêm da solução original na planilha antes de o valor original na célula de dados ter sido modificado.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistematicamente Análise de Sensibilidade

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|---|-------------------------------------|------------|-------------|----|-------------|
| 1 | O problema de mix de produtos da Wyndor Glass Co. | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | Portas | Janelas | | | |
| 4 | Lucro por lote | | US\$ 3.000 | US\$ 5.000 | | | |
| 5 | | | | | Horas | | Horas |
| 6 | | | Horas utilizadas por lote produzido | | utilizadas | | disponíveis |
| 7 | Fábrica 1 | | 1 | 0 | 2 | <= | 4 |
| 8 | Fábrica 2 | | 0 | 2 | 12 | <= | 12 |
| 9 | Fábrica 3 | | 3 | 2 | 18 | <= | 18 |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | Portas | Janelas | | | Lucro total |
| 12 | Lotes produzidos | | 2 | 6 | | | US\$ 36.000 |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | Lucro por lote | | Lotes ótimos produzidos | | Lucro | | |
| 17 | de portas | | Portas | Janelas | total | | |
| 18 | | | 2 | 6 | US\$ 36.000 | | |
| 19 | US\$ 1.000 | | 2 | 6 | US\$ 32.000 | | |
| 20 | US\$ 2.000 | | 2 | 6 | US\$ 34.000 | | |
| 21 | US\$ 3.000 | | 2 | 6 | US\$ 36.000 | | |
| 22 | US\$ 4.000 | | 2 | 6 | US\$ 38.000 | | |
| 23 | US\$ 5.000 | | 2 | 6 | US\$ 40.000 | | |
| 24 | US\$ 6.000 | | 2 | 6 | US\$ 42.000 | | |
| 25 | US\$ 7.000 | | 2 | 6 | US\$ 44.000 | | |
| 26 | US\$ 8.000 | | 4 | 3 | US\$ 47.000 | | |
| 27 | US\$ 9.000 | | 4 | 3 | US\$ 51.000 | | |
| 28 | US\$ 10.000 | | 4 | 3 | US\$ 55.000 | | |

FIGURA 6.13 Uma aplicação do Solver Table mostra o efeito de se variar sistematicamente a

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- A Figura (5) revela que a solução ótima permanece a mesma no intervalo que vai de $PD = R\$ 1.000$ a $PD = R\$ 7.000$,
- Ocorre uma alteração em algum ponto entre $R\$ 7.000$ e $R\$ 8.000$.
- Poderíamos considerar sistematicamente valores de PD entre $R\$ 7.000$ e $R\$ 8.000$ para determinar mais precisamente onde a solução ótima muda.
 - Isso não é necessário: podemos determinar por meio do relatório de sensibilidade do Excel exatamente onde a solução ótima muda.
- A metodologia é a mesma para PW (célula D4).
- O Solver Table pode ser usado dessa maneira para investigar o efeito de se mudar qualquer célula de dados no modelo, inclusive qualquer célula em HorasDisponíveis (G7:G9) ou HorasUtilizadasPorLoteProduzido (C7 :D9).

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

Verificando Mudanças Bidirecionais no Modelo

- Ao usar as estimativas originais para PD (R\$ 3.000) e PW (R\$ 5.000), a solução ótima indicada pelo modelo (Figura 1) tem alto peso no sentido de produzir janelas (seis lotes por semana) em vez de portas (somente dois lotes por semana).
- A direção da Wyndor está preocupada em relação a esse desequilíbrio e acha que o problema poderia ser que a estimativa para PD esteja muito baixa e a estimativa para PW muito alta.
- Questão: Se as estimativas são de fato nesse sentido, isso levaria a um mix de produtos mais equilibrado?
 - A razão entre PD e PW é a relevante na determinação do mix de produtos ótimo.
 - Pequenas alteração na razão PD/PW tem poucas chances de alterar o mix de produtos.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- Uma versão bidirecional do Solver Table fornece uma maneira de investigar de forma sistemática o efeito se as estimativas introduzidas nas duas células de dados forem simultaneamente imprecisas.
 - Dois é o número máximo de células de dados que pode ser considerado simultaneamente pelo Solver Table.
 - O Solver Table mostra os resultados em uma única célula de saída para os diversos valores experimentais nas duas células de dados.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- Efeito de se aumentar PD e diminuir PW ao mesmo tempo.
- Veremos o efeito sobre o lucro total. O Solver Table mostra como o LucroTotal (G12) da Figura (1) varia ao longo de um intervalo de valores experimentais nas duas células de dados, LucroPorLote (C4:D4).
- O Solver vai ser chamado para recalcular o problema para cada par de valores experimentais.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- Expanda a planilha original (Figura 1) para fazer uma tabela com cabeçalhos de coluna e linha conforme mostrados nas linhas 16-21 da planilha da Figura (6).
- No canto superior esquerdo da tabela (C17), escreva uma equação (=Lucro Total) que se refere à célula-alvo.
- Na primeira coluna da tabela (coluna C abaixo da equação na célula C17), insira vários valores experimentais para a primeira célula de dados de interesse (o lucro por lote de portas).
- Na primeira linha da tabela (linha 17, à direita da equação na célula C17), insira vários valores experimentais para a segunda célula de dados de interesse (o lucro por lote de janelas).

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- Selecione toda a tabela (C17:H21)/ Solver Table do menu Suplementos
- Na caixa de diálogo indique quais células de dados estão sendo alteradas simultaneamente.
 - “Column Input ”: célula C4; refere-se à célula de dados cujos vários valores experimentais são listados na primeira coluna da tabela (C18:C21)
 - “Row Input ”: célula D4; se refere à célula de dados cujos vários valores experimentais são listados na primeira linha da tabela (D17:H17).
- Para cada par de valores experimentais para as duas células de dados, o Excel recalcula o problema usando o Solver e depois preenche no ponto correspondente na tabela (Figura 7).

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistematicamente Análise de Sensibilidade

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|---|--|-------------------------------------|------------|---------------------------|------------|-------------------|------------|--|
| 1 | | O problema de mix de produtos da Wyndor Glass Co. | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | Portas | Janelas | | | | | |
| 4 | | Lucro por lote | US\$ 3.000 | US\$ 5.000 | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | Horas utilizadas por lote produzido | | Horas utilizadas | | Horas disponíveis | | |
| 7 | | Fábrica 1 | 1 | 0 | 2 | <= | 4 | | |
| 8 | | Fábrica 2 | 0 | 2 | 12 | <= | 12 | | |
| 9 | | Fábrica 3 | 3 | 2 | 18 | <= | 18 | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| 11 | | | Portas | Janelas | | | Lucro Total | | Selecione estas células (C17:H21), antes de selecionar o Solver Table. |
| 12 | | Lotes produzidos | 2 | 6 | | | US\$ 36.000 | | |
| 13 | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | |
| 16 | | Lucro Total | | | Lucro por lote de janelas | | | | |
| 17 | | | US\$ 36.000 | US\$ 1.000 | US\$ 2.000 | US\$ 3.000 | US\$ 4.000 | US\$ 5.000 | |
| 18 | | | US\$ 3.000 | | | | | | |
| 19 | | Lucro por lote | US\$ 4.000 | | | | | | |
| 20 | | de portas | US\$ 5.000 | | | | | | |
| 21 | | | US\$ 6.000 | | | | | | |

Solver Table

Row input cell:

D4

Column input cell:

C4

Cancel

OK

| | |
|----|-------------|
| | C |
| 17 | =LucroTotal |

| Nome da faixa de célula | Células |
|-------------------------|---------|
| Lucro Total | G12 |

Figura 6.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

| | B | C | D | E | F | G | H |
|----|--------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 16 | Lucro Total | | | Lucro por Lote de Janelas | | | |
| 17 | | US\$ 36.000 | US\$ 1.000 | US\$ 2.000 | US\$ 3.000 | US\$ 4.000 | US\$ 5.000 |
| 18 | | US\$ 3.000 | US\$ 15.000 | US\$ 18.000 | US\$ 24.000 | US\$ 30.000 | US\$ 36.000 |
| 19 | Lucro por Lote | US\$ 4.000 | US\$ 19.000 | US\$ 22.000 | US\$ 26.000 | US\$ 32.000 | US\$ 38.000 |
| 20 | de Portas | US\$ 5.000 | US\$ 23.000 | US\$ 26.000 | US\$ 29.000 | US\$ 34.000 | US\$ 40.000 |
| 21 | | US\$ 6.000 | US\$ 27.000 | US\$ 30.000 | US\$ 33.000 | US\$ 36.000 | US\$ 42.000 |

■ FIGURA 6.17 Uma aplicação bidimensional do Solver Table que mostra o efeito sobre o lucro total ótimo causado pela variação sistemática das estimativas de lucros por lote de portas e janelas para o problema da Wyndor.

Figura 7:

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

- Para mostrar os resultados de várias células em mutação e/ou células de saída dentro de uma célula da tabela.
 - Usar o símbolo &
 - Alterar a célula C25 (ou C31) para:
= "(" & LotesdePortasProduzidas & "," & LotesdeJanelasProduzidas & ")"
 - O caractere & informa ao Excel para concatenar, de modo que o resultado será um parêntese de abertura, seguido pelo valor contido em LotesdePortasProduzidas (C12), depois uma vírgula e o conteúdo de LotesdeJanelasProduzidas (D12) e, finalmente, um parêntese de fechamento.
 - Se LotesdePortasProduzidas = 2 e LotesdeJanelasProduzidas = 6, o resultado será (2,6). Portanto, os resultados causados pela modificação de ambas as células são exibidos dentro de uma única célula da tabela.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Executar Sistemáticamente Análise de Sensibilidade

| | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-------------------------------|------------|------------|---------------------------|------------|------------|------------|
| 24 | Lucro total (Portas, Janelas) | | | Lucro por lote de janelas | | | |
| 25 | | (2.6) | US\$ 1.000 | US\$ 2.000 | US\$ 3.000 | US\$ 4.000 | US\$ 5.000 |
| 26 | | US\$ 3.000 | (4.3) | (4.3) | (2.6) | (2.6) | (2.6) |
| 27 | Lucro por lote | US\$ 4.000 | (4.3) | (4.3) | (2.6) | (2.6) | (2.6) |
| 28 | de portas | US\$ 5.000 | (4.3) | (4.3) | (4.3) | (2.6) | (2.6) |
| 29 | | US\$ 6.000 | (4.3) | (4.3) | (4.3) | (4.3) | (4.3) |

| | C |
|----|---|
| 25 | = "(" & LotesdePortasProduzidas & ", " & LotesdeJanelasProduzidas & ")" |

Solver Table

Row input cell:

D4

Column input cell:

C4

Cancel

OK

| Nome da Faixa de Células | Células |
|--------------------------|---------|
| LotesdePortasProduzidas | C12 |
| LotesdeJanelasProduzidas | D12 |

■ FIGURA 6.18 Uma aplicação bidimensional do Solver Table que mostra o efeito sobre o *mix* de produtos ótimo causado pela variação sistemática das estimativas de lucros por lote de portas e janelas para o problema da Wyndor.

Subseção 3

Usando o Relatório de Sensibilidade para Executar a Análise de Sensibilidade

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Usando o Relatório de Sensibilidade para Executar a Análise de Sensibilidade

- Vimos quanto a estimativa inicial de P_D poderia se afastar R\$ 3.000 antes de a solução ótima atual, $(x_1, x_2) = (2, 6)$, mudar.
- Vimos que a solução ótima mudaria entre entre R\$ 7.000 e R\$ 8.000 (Figura 5).
- Também vimos que se a estimativa inicial de R\$ 3.000 para PD fosse muito alta em vez de muito baixa, PD teria de ser diminuído para algo abaixo de R\$ 1.000 antes de a solução ótima mudar.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Usando o Relatório de Sensibilidade para Executar a Análise de Sensibilidade

Células Ajustáveis

| Célula | Nome | Valor Final | Custo Reduzido | Coeficiente Objetivo | Acréscimo Possível | Decréscimo Possível |
|---------|--------------------------|-------------|----------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| \$C\$12 | LotesdePortasProduzidas | 2 | 0 | 3.000 | 4.500 | 3.000 |
| \$D\$12 | LotesdeJanelasProduzidas | 6 | 0 | 5.000 | 1E+30 | 3.000 |

■ FIGURA 6.19 Parte do relatório de sensibilidade gerado pelo Excel Solver para o problema original da Wyndor (Figura 6.8), no qual as três últimas colunas identificam os intervalos para que a solução permaneça ótima para os lucros por lote de portas e janelas.

Figura 9: Relatório de Sensibilidade

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Usando o Relatório de Sensibilidade para Executar a Análise de Sensibilidade

- No relatório de sensibilidade da Figura (9), a linha LotesdePortasProduzidas nesse fornece as informações:

Valor atual de PD: 3.000

Acréscimo possível de PD: 4500. Portanto, $P_D \leq 3.000 + 4.500 = 7.500$

Decréscimo possível em PD: 3.000. Portanto, $P_D \geq 3.000 - 3.000 = 0$

Intervalo possível para solução permanecer ótima para P_D :

$$0 \leq P_D \leq 7.500$$

Subseção 4

Analizando a sensibilidade em um gráfico

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analizando a sensibilidade Graficamente

Analizando a sensibilidade por meio gráfico

- Para o valor original $PD = 3.000$, a reta cheia na Figura (10) mostra a inclinação da função objetivo passando por $(2,6)$.
- Na parte inferior do intervalo possível para a solução permanecer ótima:
 - $PD = 0$, a reta da função objetivo que passa por $(2,6)$ agora é a reta B, de modo que todo ponto sobre o segmento de reta entre $(0,6)$ e $(2,6)$ seja uma solução ótima.
 - Para qualquer valor $PD < 0$, a reta da função objetivo terá girado ainda mais de maneira que $(0, 6)$ se transforma na única solução ótima.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

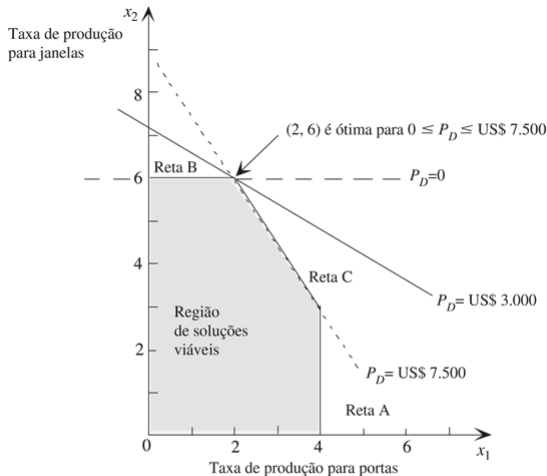
Analisando a sensibilidade Graficamente

Analisando a sensibilidade por meio gráfico

- Na extremidade superior do intervalo possível:
 - $PD = 7.500$: a reta da função objetivo que passa por $(2,6)$ se toma a reta C, de modo que qualquer ponto sobre o segmento de reta entre $(2, 6)$ e $(4, 3)$ se transforma em uma solução ótima.
 - Para qualquer valor $PD > 7.500$, a reta da função objetivo é ainda mais inclinada que a reta C, de forma que $(4,3)$ se tome a única solução ótima.
- A solução ótima inicial $(x_1, x_2) = (2, 6)$ permanece ótima somente enquanto $0 \leq P_D \leq R\$7.500$.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando a sensibilidade Graficamente



■ FIGURA 6.20 As duas retas tracejadas que passam por retas cheias de limite de restrição são as retas de função objetivo quando P_D (o lucro por lote de portas) encontra-se em um ponto extremo de seu intervalo possível para a solução permanecer ótima, $0 \leq P_D \leq 7.500$, depois tanto a reta quanto qualquer outra reta de função objetivo nesse intervalo ainda resultam em $(x_1, x_2) = (2, 6)$ como uma

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando a sensibilidade Graficamente

Conclusão

- O intervalo possível para a solução permanecer ótima para PD é $0 \leq P_D \leq R\$7.500$: $(x_1, x_2) = (2, 6)$ permanece ótimo ao longo desse intervalo, mas não além deste.
- Quando $P_D = 0$ ou $P_D = R\$7.500$, há múltiplas soluções ótimas, porém $(x_1, x_2) = (2, 6)$ ainda é uma delas.
- Com um intervalo grande em torno da estimativa inicial de R\$ 3.000 ($P_D = R\$3.000$) para o lucro por lote de portas, podemos ficar relativamente confiantes na obtenção da solução ótima correta para um lucro real.

Subseção 5

Analizando Alterações Simultâneas

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

- O que aconteceria se as estimativas para P_D (R\$ 3.000) e P_W (R\$ 5.000) fossem simultaneamente, muito baixa e muito alta?
- Quão distantes estariam as estimativas antes que a solução ótima atual, $(x_1, x_2) = (2, 6)$ mudasse?
- Vimos que se P_D aumentasse em R\$ 2.000 (de R\$ 3.000 para R\$ 5.000) e P_W diminuísse em R\$ 1.000 (de R\$ 5.000 para R\$ 4.000), a solução ótima permaneceria a mesma (Figura 7).
- O relatório de sensibilidade permite determinar qual seria as alterações possíveis em P_D e P_W (Figura 9)

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

Regra dos 100% para Alterações Simultâneas nos Coeficientes da Função Objetivo

- Se forem feitas alterações simultâneas nos coeficientes da função objetivo;
- Calcule a porcentagem de alteração permissível (acréscimo ou decréscimo) para cada uma delas de modo que o coeficiente fique dentro de seu intervalo possível para a solução permanecer ótima.
- Se a soma das alterações percentuais não exceder 100%, a solução ótima inicial certamente permanecerá ótima.
- Se a soma efetivamente exceder 100%, então não podemos ter certeza se permanece ou não ótima.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

- A Regra dos 100% não expressa o que acontece se a soma da porcentagem efetivamente exceder 100%.
- Dependerá das direções das mudanças nos coeficientes.
- São as razões dos coeficientes que são relevantes na determinação da **solução ótima**;
- A solução ótima inicial poderia de fato permanecer ótima mesmo quando a soma das alterações percentuais exceder muito o valor de 100% caso as **mudanças** nos coeficientes sejam na **mesma direção**.
- Exceder 100% pode ou não mudar a solução ótima, porém desde que **100% não seja ultrapassado**, a **solução ótima inicial permanecerá** ótima.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analizando Alterações Simultâneas

- Podemos usar de forma segura todo acréscimo ou decréscimo possíveis (Figura 9) em um único coeficiente de função objetivo apenas se nenhum dos demais coeficientes tiver mudado.
- Alterações simultâneas nos coeficientes: observar a porcentagem do acréscimo ou decréscimo possíveis.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

Exemplo

- Consideremos o problema da Wyndor e as informações do relatório de sensibilidade (Figura 9).
- Suponha que a estimativa de P_D tenha aumentado de R\$ 3.000 para R\$ 4.500 enquanto a estimativa para P_W tenha diminuído de R\$ 5.000 para R\$ 4.000.

Percentual de variação possível

$$100 \left(\frac{|\text{Novo valor} - \text{Valor atual}|}{\text{Decréscimo ou Acréscimo Possível}^a} \right) \% = \%$$

^aSe a variável sofrer um acréscimo (decréscimo) deve ser utilizado o respectivo valor da coluna acréscimo(decréscimo) na tabela de análise de sensibilidade do Excel.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\4.500 (Acréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{4.500 - 3.000}{4.500} \right) \% = 33,3\%$$

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analizando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\4.500 (Acréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{4.500 - 3.000}{4.500} \right) \% = 33,3\%$$

$P_W : R\$5.000 \rightarrow R\4.000 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{5.000 - 4.000}{3.000} \right) \% = 33,3\%$$

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\4.500 (Acréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{4.500 - 3.000}{4.500} \right) \% = 33,3\%$$

$P_W : R\$5.000 \rightarrow R\4.000 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{5.000 - 4.000}{3.000} \right) \% = 33,3\%$$

- Soma = 66,6%: não excede os 100%:
 - A solução ótima original $(x_1, x_2) = (2, 6)$ sem dúvida nenhuma ainda será ótima;
 - Já havíamos descoberto anteriormente (Figura 8).

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

Exemplo 2

- Suponha que:
 - A estimativa de P_D aumente de R\$ 3.000 para R\$ 6.000;
 - A estimativa para P_W diminua de R\$ 5.000 para R\$ 3.000.
 - Por meio da regra dos 100%, é possível afirmar que a solução ótima permanecerá inalterada?

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\6.000 (Acréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{6.000 - 3.000}{4.500} \right) \% = 66,6\%$$

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\6.000 (Acréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{6.000 - 3.000}{4.500} \right) \% = 66,6\%$$

$P_W : R\$5.000 \rightarrow R\3.000 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{5.000 - 3.000}{3.000} \right) \% = 66,6\%$$

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\6.000 (Acréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{6.000 - 3.000}{4.500} \right) \% = 66,6\%$$

$P_W : R\$5.000 \rightarrow R\3.000 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{5.000 - 3.000}{3.000} \right) \% = 66,6\%$$

- Soma = 133,3%: excede os 100%:
 - Não podemos afirmar que a solução ótima original $(x_1, x_2) = (2, 6)$ ainda será ótima;
 - Já havíamos descoberto anteriormente (Figura 8) que a nova solução ótima será $(x_1, x_2) = (4, 3)$.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

Exemplo 3

- A soma das porcentagens das mudanças permissíveis exceder a 100% não significa automaticamente que a solução ótima mudará!
:
- A estimativa de P_D diminua de R\$ 3.000 para R\$ 1.500;
- A estimativa para P_W diminua de R\$ 5.000 para R\$ 2.500.
- Por meio da regra dos 100%, é possível afirmar que a solução ótima permanecerá inalterada?

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\1.500 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{3.000 - 1.500}{3.000} \right) \% = 50,0\%$$

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\1.500 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{3.000 - 1.500}{3.000} \right) \% = 50,0\%$$

$P_W : R\$5.000 \rightarrow R\2.500 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{5.000 - 2.500}{3.000} \right) \% = 83,3\%$$

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

$P_D : R\$3.000 \rightarrow R\1.500 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{3.000 - 1.500}{3.000} \right) \% = 50,0\%$$

$P_W : R\$5.000 \rightarrow R\2.500 (Decréscimo)

$$\text{Percentual de variação possível} = 100 \left(\frac{5.000 - 2.500}{3.000} \right) \% = 83,3\%$$

- Soma = 103,3%: excede os 100%:
 - Pela regra dos 100% não podemos afirmar que a solução ótima original ainda é ótima;
 - Entretanto, a solução ótima original permanece ótima.
 - Isso acontece **toda vez** que mudanças proporcionais são feitas em todas as estimativas de lucro, que conduzirão automaticamente à mesma solução ótima.

Mudanças nos coeficientes da função objetivo

Analisando Alterações Simultâneas

Outros Tipos de Análise de Sensibilidade

- A metodologia anterior para outras mudanças no modelo (lados direitos das restrições funcionais ou coeficientes nas restrições funcionais) é praticamente a mesma daquela usada para os coeficientes da função objetivo;
- O relatório de sensibilidade também fornece os preços-sombra, o efeito de se mudar o lado direito de qualquer restrição funcional única;
- Ao alterar uma série de lados direitos ao mesmo tempo, também há uma “regra dos 100% ” análoga.