

# **SOLVER(EXCEL):**

## **MANUAL DE REFERÊNCIA**

Aloísio de Castro Gomes Júnior

Marcone Jamilson Freitas Souza

Projeto patrocinado pelo programa PRÓ-ATIVA da UFOP

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

JANEIRO DE 2004

# Conteúdo

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 SOLVER (EXCEL)</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 O que é o SOLVER? . . . . .                                  | 1         |
| 1.2 Exemplos de como Modelar usando o SOLVER do Excel . . . . .  | 1         |
| 1.2.1 Problema da Fábrica de Automóveis . . . . .                | 1         |
| 1.2.2 Problema do Empréstimo do Banco . . . . .                  | 6         |
| 1.2.3 Problema da Fábrica de Motores . . . . .                   | 8         |
| 1.2.4 Problema da Escolha de Carteira de Investimentos . . . . . | 10        |
| 1.2.5 Problema da Mistura de Petróleo . . . . .                  | 15        |
| <b>Bibliografia</b>  | <b>19</b> |

# **Lista de Figuras**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.1  | Modelagem do Exemplo da seção 1.2.1 no Excel . . . . .                             | 2  |
| 1.2  | Janela da ferramenta SOLVER . . . . .  | 5  |
| 1.3  | Escolha da Célula de Destino . . . . .   | 5  |
| 1.4  | Janela do Solver após a designação das células variáveis . . . . .                 | 5  |
| 1.5  | Formato da entrada da 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> restrições . . . . .         | 5  |
| 1.6  | Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER para o Exemplo da seção 1.2.1 . . . . . | 7  |
| 1.7  | Janela de Opções do SOLVER . . . . .   | 7  |
| 1.8  | Opções de Resultado da ferramenta SOLVER . . . . .                                 | 7  |
| 1.9  | Resultados inseridos na planilha . . . . .   | 9  |
| 1.10 | Modelagem do Exemplo da seção 1.2.2 no Excel . . . . .                             | 9  |
| 1.11 | Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER . . . . .                               | 9  |
| 1.12 | Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.2 . . . . .           | 11 |
| 1.13 | Modelagem do Exemplo da seção 1.2.3 no Excel . . . . .                             | 11 |
| 1.14 | Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER . . . . .                               | 11 |
| 1.15 | Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.3 . . . . .           | 13 |
| 1.16 | Modelagem do Exemplo da seção 1.2.4 no Excel . . . . .                             | 13 |
| 1.17 | Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER . . . . .                               | 14 |
| 1.18 | Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.4 . . . . .           | 14 |
| 1.19 | Modelagem do Exemplo da seção 1.2.5 no Excel . . . . .                             | 16 |
| 1.20 | Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER . . . . .                               | 17 |
| 1.21 | Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.5 . . . . .           | 18 |

# Capítulo 1

## SOLVER (EXCEL)

### 1.1 O que é o SOLVER?

O Solver faz parte de um conjunto de programas algumas vezes chamado de ferramentas de análise hipotética. Com o Solver você pode localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula – chamada de célula de destino – em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. O Solver ajusta os valores nas células variáveis que você especificar – chamadas de células ajustáveis – para produzir o resultado especificado por você na fórmula da célula de destino. Você pode aplicar restrições para restringir os valores que o Solver poderá usar no modelo e as restrições podem se referir a outras células que afetem a fórmula da célula de destino. Poderemos visualizar isto melhor através de exemplos.

No nosso curso, usaremos o SOLVER para resolver Problemas de Programação Linear.

### 1.2 Exemplos de como Modelar usando o SOLVER do Excel

Para familiarizarmos com o uso do SOLVER utilizaremos uma série de exemplos para a fixação de seus principais comandos.

#### 1.2.1 Problema da Fábrica de Automóveis

Alfa Inc. deve produzir 1000 automóveis Alfa. A empresa tem quatro fábricas. Devido a diferenças na mão-de-obra e avanços tecnológicos, as plantas diferem no custo de produção unitário de cada carro. Elas também utilizam diferentes quantidades de matéria-prima e mão-de-obra. O custo de operação, o tempo necessário de mão-de-obra e o custo de matéria-prima para produzir uma unidade de cada carro em cada uma das fábricas estão evidenciados na tabela abaixo.

| Fábrica | Custo Unitário<br>(em R\$1.000,00) | Mão-de-Obra<br>(horas de fabricação) | Matéria-Prima<br>(unidades de material) |
|---------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1       | 15                                 | 2                                    | 3                                       |
| 2       | 10                                 | 3                                    | 4                                       |
| 3       | 9                                  | 4                                    | 5                                       |
| 4       | 7                                  | 5                                    | 6                                       |

Um acordo trabalhista assinado requer que pelo menos 250 carros sejam produzidas na fábrica

3. Existem 3200 horas de mão-de-obra e 4000 unidades de material que podem ser alocados às quatro fábricas.

O modelo de decisão do problema é dado abaixo, onde  $x_j$  representa a quantidade de automóveis a serem fabricadas na fábrica  $j = 1, 2, 3, 4$ .

$$\begin{array}{l}
 \text{min} \quad 15x_1 + 10x_2 + 9x_3 + 7x_4 \\
 \text{s.a} \quad 2x_1 + 3x_2 + 4x_3 + 5x_4 \leq 3200 \\
 \quad \quad \quad 3x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 6x_4 \leq 4000 \\
 \quad \quad \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1000 \\
 \quad \quad \quad \quad \quad x_3 \geq 250 \\
 \quad \quad \quad x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0
 \end{array}$$

Para resolvemos este PPL utilizando o Excel, devemos primeiramente designar uma célula para representar cada uma das seguintes entidades:

- Função Objetivo (FO) (Expressão a ser minimizada ou maximizada);
- Varáveis de Decisão (variáveis que o modelador pode alterar seu valor);
- Para cada restrição temos uma célula representando o lado esquerdo da restrição (LHS) e outra representando o lado direito da restrição (RHS).

|                       | A          | B  | C                       | D  | E  | F          | G    |
|-----------------------|------------|----|-------------------------|----|----|------------|------|
| <b>A L F A I N C.</b> |            |    |                         |    |    |            |      |
| 1                     |            |    |                         |    |    |            |      |
| 2                     |            |    |                         |    |    |            |      |
| 3                     | Função     |    | Coeficiente da Variável |    |    |            |      |
| 4                     | Objetivo   | X1 | X2                      | X3 | X4 |            |      |
| 5                     |            | 15 | 10                      | 9  | 7  |            |      |
| 6                     | Variáveis  |    |                         |    |    |            |      |
| 7                     | Z=         |    | 0                       |    |    |            |      |
| 8                     |            |    |                         |    |    |            |      |
| 9                     | Restrições |    | Coeficiente da Variável |    |    | Constantes |      |
| 10                    | Nº         | X1 | X2                      | X3 | X4 | LHS        | RHS  |
| 11                    | 1          | 2  | 3                       | 4  | 5  | 0          | 3200 |
| 12                    | 2          | 3  | 4                       | 5  | 6  | 0          | 4000 |
| 13                    | 3          | 1  | 1                       | 1  | 1  | 0          | 1000 |
| 14                    | 4          |    |                         | 1  |    | 0          | 250  |

Figura 1.1: Modelagem do Exemplo da seção 1.2.1 no Excel

A figura 1.1 apresenta uma das possíveis maneiras de representar o PPL em uma planilha do Excel. Nesta planilha as células a seguir designarão cada uma das entidades citadas anteriormente.

- B7 irá representar o valor da FO a ser minimizada;
- B6 a E6 representarão os valores que as variáveis de decisão assumirão na solução;
- F11 a F14 irão representar os LHS das 4 restrições;
- G11 a G14 irão representar os RHS das 4 restrições.

Para que possamos definir cada uma das células anteriormente citadas necessitamos inserir uma série de parâmetros do nosso PPL, tais como todos os coeficientes das restrições e da FO. Para lembrar o que cada célula representa é aconselhável a colocação de títulos que especifiquem o conteúdo de cada célula (células com texto). As células B5 a E5 são utilizadas para inserir os valores dos coeficientes da FO, enquanto as células de B11 a E14 representam os coeficientes das 4 restrições.

Agora devemos definir cada uma das entradas citadas anteriormente. A tabela a seguir representa as fórmulas colocadas em cada uma destas células.

Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do Exemplo 1

|     |  |                                 |
|-----|--|---------------------------------|
| B7  | =B5*B6+C5*C6+D5*D6+E5*E6                     | FO                              |
| F11 | =B11*\$B\$6+C11*\$C\$6+D11*\$D\$6+E11*\$E\$6 | LHS da 1 <sup>a</sup> restrição |
| F12 | =B12*\$B\$6+C12*\$C\$6+D12*\$D\$6+E12*\$E\$6 | LHS da 2 <sup>a</sup> restrição |
| F13 | =B13*\$B\$6+C13*\$C\$6+D13*\$D\$6+E13*\$E\$6 | LHS da 3 <sup>a</sup> restrição |
| F14 | =B14*\$B\$6+C14*\$C\$6+D14*\$D\$6+E14*\$E\$6 | LHS da 4 <sup>a</sup> restrição |

Obs.: os símbolos \$ significam que a linha e a coluna são fixos.

Precisamos agora avisar ao Excel quais são as células que representam nossa FO, as variáveis de decisão, as restrições do modelo, e finalmente, mandar o Excel resolver para nós. Isto é feito utilizando a ferramenta SOLVER do Excel. Para tal, clique com o botão esquerdo do mouse sobre o menu *FERRAMENTAS* e logo em seguida em *SOLVER*, caso a ferramenta SOLVER não esteja disponível, clique no menu *FERRAMENTAS* e depois em *SUPLEMENTOS* e marque a opção SOLVER para que a mesma fique disponível, o Excel instalará a ferramenta tornando-a disponível para uso.

Após este procedimento aparecerá na tela a janela representada pela figura 1.2. Nesta janela é que serão informadas ao software as células que representarão a FO, as variáveis de decisão e as restrições.

Na parte superior da janela da figura 1.2 aparece um campo para a entrada de dados chamado "*Definir célula de destino*" que representará o valor da FO. Existem duas maneiras para designar esta célula. A primeira é clicar sobre o ícone que está do lado direito do campo, que levará você

a planilha de dados, nesse ponto devemos clicar sobre a célula que representa a FO e pressionar a tecla *ENTER* para voltar a janela do SOLVER. A segunda é digitar o nome da célula (B7 no nosso exemplo) no campo. Realizando uma das duas maneiras, a janela resultante é apresentada na figura 1.3.

Na linha seguinte são apresentadas as opções de maximizar, minimizar e atingir valor. Dependendo do problema devemos clicar sobre uma das três, no nosso exemplo devemos clicar sobre Min, pois nosso exemplo é de minimização. A opção "*Valor de*" pode ser utilizada em análise do tipo ponto de equilíbrio, onde desejamos que a função Lucro (por exemplo) atinja o valor de 0. Nos casos de Programação Linear esta opção não será utilizada.

Na próxima linha há um campo denominado "*Células Variáveis*". Neste campo serão inseridas as células que representarão as variáveis de decisão. Os valores podem ser inseridos como o caso da FO, isto é, clicando sobre o ícone à direita do campo e marcando as células escolhidas ou simplesmente digitando seus nomes utilizando as regras do Excel para tal. Utilizando uma das maneiras, a janela terá o formato da figura 1.4.

O próximo passo é designar as restrições do problema. Devemos inserir uma restrição ou um grupo de restrições (desde que as restrições tenham o mesmo sinal de restrição e estejam adjacentes) de cada vez. Para inserir a 1<sup>a</sup> restrição devemos clicar no botão "*Adicionar*" para aparecer uma janela de entrada de restrições.

A janela de entrada de restrições tem três campos, que representam o LHS - "*Referência de célula:*" (à esquerda), o sinal da restrição (ao centro), e o RHS - "*Restrição*" (à direita). Como já mencionado anteriormente, o LHS representa a equação do lado esquerdo da restrição (o lado esquerdo do dicionário modificado). O RHS representa o lado direito da restrição (a constante do dicionário). A figura 1.5 representa a entrada da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> restrições. Para entrar com os valores nos campos, deve-se proceder como nos casos anteriores, usando o ícone à direita ou digitando o nome da célula.

O passo seguinte será o de clicar no botão "*OK*", no caso de não haver nenhuma outra restrição, ou no botão "*Adicionar*" para confirmar esta restrição e abrir espaço para uma nova entrada. No nosso exemplo, devemos clicar em "*Adicionar*" e inserir as outras restrições. Ao final de todas as entradas a janela do SOLVER terá a forma da figura 1.6.

Devemos agora inserir as restrições de não-negatividade e definir que o modelo é de Programação Linear, para isto, devemos clicar no botão "*Opções*" e marcar as opções "*Presumir modelo linear*" e "*Presumir não negativos*" como é mostrada na figura 1.7 e depois clique no botão "*OK*" para

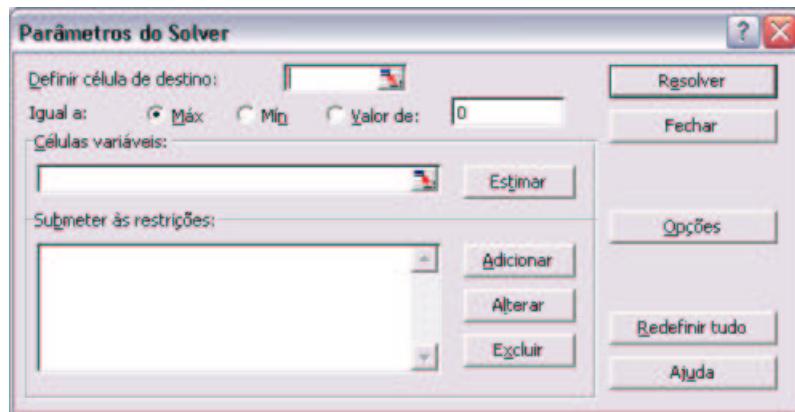


Figura 1.2: Janela da ferramenta SOLVER

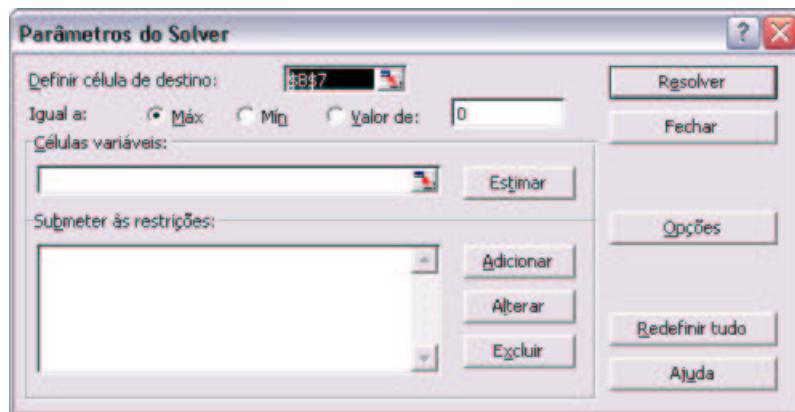


Figura 1.3: Escolha da Célula de Destino



Figura 1.4: Janela do Solver após a designação das células variáveis

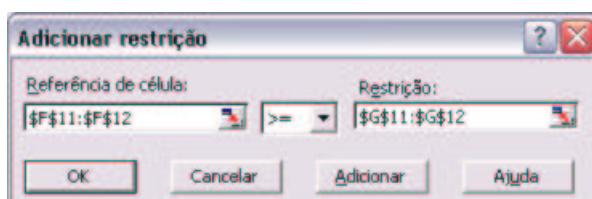


Figura 1.5: Formato da entrada da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> restrições

confirmar.

Uma vez inserido o modelo e suas características, devemos efetivamente resolvê-lo. Para tanto basta clicar no botão "*Resolver*" na janela dos parâmetros do SOLVER do Excel. Se o modelo foi corretamente inserido, será processado e o resultado aparecerá automaticamente na planilha. Aparecerá uma janela como a mostrada na figura 1.8. Se observarmos valores incoerentes ou inesperados, devemos neste ponto clicar na opção "*Restaurar Valores Originais*" para restaurar os valores iniciais do modelo. Existe ainda a opção de requisitar três tipos de relatórios (lado direito da janela).

Ao clicar no botão "*OK*", a janela de Resultados do SOLVER será apagada e os resultados aparecerão na planilha como mostrado na figura 1.9.

### 1.2.2 Problema do Empréstimo do Banco

O Banco Municipal de Ouro Preto (BMOP) está formulando sua política de crédito para o próximo trimestre. Um total de 12 milhões será alocado às várias modalidades de empréstimo que ele pretende conceder. Sendo uma instituição de atendimento pleno, obriga-se a atender a uma clientela diversificada. A tabela abaixo prevê as modalidades de empréstimos praticadas pelo Banco, as taxas de juro por ele cobradas e a possibilidade de débitos não honrados, medida em probabilidade, com base nas experiências passadas.

| <b>Tipo de Empréstimo</b> | <b>Taxa de Juro</b> | <b>Probabilidade de Débito não honrado</b> |
|---------------------------|---------------------|--|
| Pessoal                   | 0,140               | 0,10                                       |
| Compra de automóvel       | 0,130               | 0,07                                       |
| Compra de casa própria    | 0,120               | 0,03                                       |
| Agrícola                  | 0,125               | 0,05                                       |
| Comercial                 | 0,100               | 0,02                                       |

Os débitos não honrados são assumidos como irrecuperáveis e, portanto, não produzem retorno. A competição com outras instituições similares, nas áreas mencionadas, requer que o Banco alope, pelo menos 40% do total disponível, em empréstimos agrícolas e comerciais. Para apoiar a indústria da construção civil na região, os empréstimos para compra da casa própria devem ser, pelo menos, 50% do total alocado para empréstimos pessoais e destinados a compra de carro. Além disso, o Banco deseja incluir na sua política de empréstimos a condição de que a razão entre o total de débitos não honrados em todos os empréstimos e o total emprestado, não exceda 0,04. Formule um modelo de programação linear para otimizar a política de crédito do Banco.

O modelo de decisão do problema é dado abaixo, onde  $x_j$  representa a quantidade de dinheiro alocado para empréstimos do tipo  $j = (1=\text{Pessoal}, 2=\text{Compra de Automóveis}, 3=\text{Compra de Casa}$

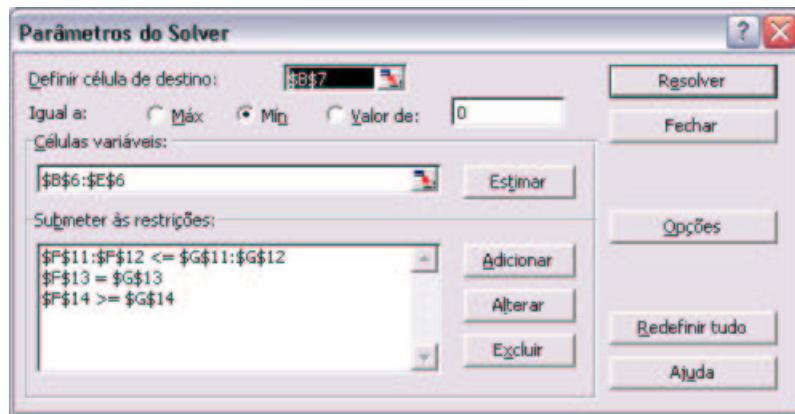


Figura 1.6: Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER para o Exemplo da seção 1.2.1

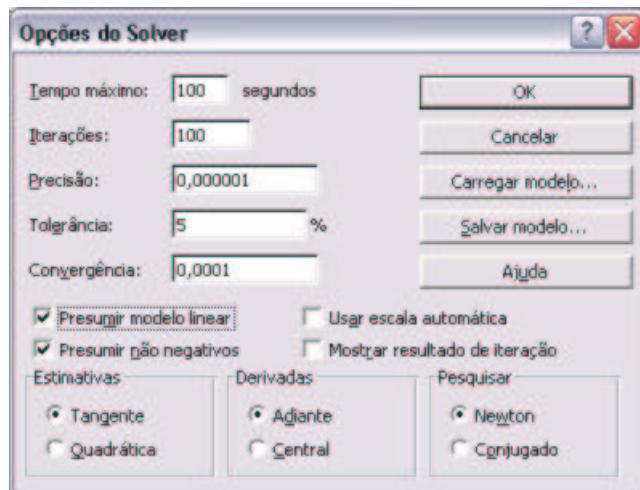


Figura 1.7: Janela de Opções do SOLVER

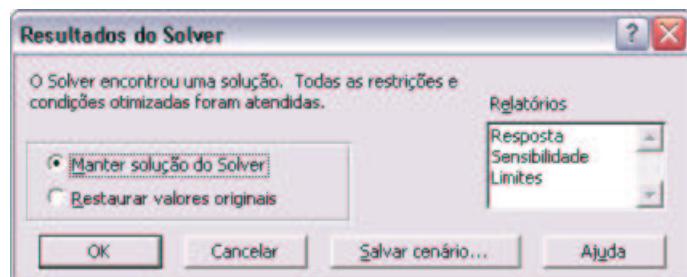


Figura 1.8: Opções de Resultado da ferramenta SOLVER

Própria, 4=Agrícola e 5=Comercial).

|     |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |            |
|-----|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|------------|
| max | 0,126 | $x_1$ | + | 0,121 | $x_2$ | + | 0,116 | $x_3$ | + | 0,119 | $x_4$ | + | 0,098 | $x_5$ |            |
| s.a |       | $x_1$ | + |       | $x_2$ | + |       | $x_3$ | + |       | $x_4$ | + |       | $x_5$ | $\leq$ 12  |
|     |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       | $x_4$ | + |       | $x_5$ | $\geq$ 4,8 |
|     |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       | $\geq$ 0   |
|     |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       | $\leq$ 0   |
|     |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       |   |       |       | $\geq$ 0   |

Para resolvemos este PPL, devemos proceder da mesma forma apresentada no exemplo da seção 1.2.1, só que o modelo deve ser parecido com o da figura 1.10.

A figura 1.10 apresenta uma das possíveis maneiras de representar o PPL em uma planilha do Excel. Nesta planilha as células a seguir designarão cada uma das entidades:

- B7 irá representar o valor da FO a ser maximizada;
- B6 a F6 representarão os valores que as variáveis de decisão assumirão na solução;
- G11 a G14 irão representar os LHS das 4 restrições;
- H11 a H14 irão representar os RHS das 4 restrições.

As fórmulas utilizadas são apresentadas na tabela a seguir.

Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do Exemplo 2

|     |   |
|-----|---|
| B7  | =B6*B5+C6*C5+D6*D5+E6*E5+F6*F5                          |
| G11 | =B11*\$B\$6+C11*\$C\$6+D11*\$D\$6+E11*\$E\$6+F11*\$F\$6 |
| G12 | =B12*\$B\$6+C12*\$C\$6+D12*\$D\$6+E12*\$E\$6+F12*\$F\$6 |
| G13 | =B13*\$B\$6+C13*\$C\$6+D13*\$D\$6+E13*\$E\$6+F13*\$F\$6 |
| G14 | =B14*\$B\$6+C14*\$C\$6+D14*\$D\$6+E14*\$E\$6+F14*\$F\$6 |

A janela com os parâmetros do SOLVER é apresentado na figura 1.11 e a planilha com os resultados é mostrada na figura 1.12.

### 1.2.3 Problema da Fábrica de Motores

A LCL Motores Ltda., uma fábrica de motores especiais, recebeu recentemente R\$90.000,00 em pedidos de seus três tipos de motores. Cada motor necessita de um determinado número de horas de trabalho no setor de montagem e de acabamento.

A LCL pode terceirizar parte da sua produção. A tabela a seguir resume estes dados.

| Modelo                | 1           | 2          | 3           | TOTAL      |
|-----------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| <b>Demandas</b>       | 3000 unid.  | 2500 unid. | 500 unid.   | 6000 unid. |
| <b>Montagem</b>       | 1 h/unid.   | 2 h/unid.  | 0,5 h/unid. | 6000 h     |
| <b>Acabamento</b>     | 2,5 h/unid. | 1 h/unid.  | 4 h/unid.   | 10000 h    |
| <b>Custo Produção</b> | R\$50       | R\$90      | R\$120      |            |
| <b>Terceirizado</b>   | R\$65       | R\$92      | R\$140      |            |

|                  | A          | B     | C                       | D   | E  | F    | G    |  |
|------------------|------------|-------|-------------------------|-----|----|------|------|--|
| <b>ALFA INC.</b> |            |       |                         |     |    |      |      |  |
| 1                |            |       |                         |     |    |      |      |  |
| 2                |            |       |                         |     |    |      |      |  |
| 3                | Função     |       | Coeficiente da Variável |     |    |      |      |  |
| 4                | Objetivo   | X1    | X2                      | X3  | X4 |      |      |  |
| 5                |            | 15    | 10                      | 9   | 7  |      |      |  |
| 6                | Variáveis  | 250   | 500                     | 250 | 0  |      |      |  |
| 7                | Z=         | 11000 |                         |     |    |      |      |  |
| 8                |            |       |                         |     |    |      |      |  |
| 9                | Restrições |       | Coeficiente da Variável |     |    |      |      |  |
| 10               | Nº         | X1    | X2                      | X3  | X4 | LHS  | RHS  |  |
| 11               | 1          | 2     | 3                       | 4   | 5  | 3000 | 3200 |  |
| 12               | 2          | 3     | 4                       | 5   | 6  | 4000 | 4000 |  |
| 13               | 3          | 1     | 1                       | 1   | 1  | 1000 | 1000 |  |
| 14               | 4          |       |                         | 1   |    | 250  | 250  |  |

Figura 1.9: Resultados inseridos na planilha

|    | A            | B     | C                       | D     | E     | F     | G   | H   |  |
|----|--------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-----|-----|--|
| 1  | <b>B MOP</b> |       |                         |       |       |       |     |     |  |
| 2  |              |       |                         |       |       |       |     |     |  |
| 3  | Função       |       | Coeficiente da Variável |       |       |       |     |     |  |
| 4  | Objetivo     | X1    | X2                      | X3    | X4    | X5    |     |     |  |
| 5  |              | 0,126 | 0,121                   | 0,116 | 0,119 | 0,098 |     |     |  |
| 6  | Variáveis    |       |                         |       |       |       |     |     |  |
| 7  | Z=           | 0     |                         |       |       |       |     |     |  |
| 8  |              |       |                         |       |       |       |     |     |  |
| 9  | Restrições   |       | Coeficiente da Variável |       |       |       |     |     |  |
| 10 | Nº           | X1    | X2                      | X3    | X4    | X5    | LHS | RHS |  |
| 11 | 1            | 1     | 1                       | 1     | 1     | 1     | 0   | 12  |  |
| 12 | 2            |       |                         |       | 1     | 1     | 0   | 4,8 |  |
| 13 | 3            | -0,05 | -0,05                   | 1     |       |       | 0   | 0   |  |
| 14 | 4            | 0,06  | 0,03                    | -0,01 | 0,01  | -0,02 | 0   | 0   |  |

Figura 1.10: Modelagem do Exemplo da seção 1.2.2 no Excel

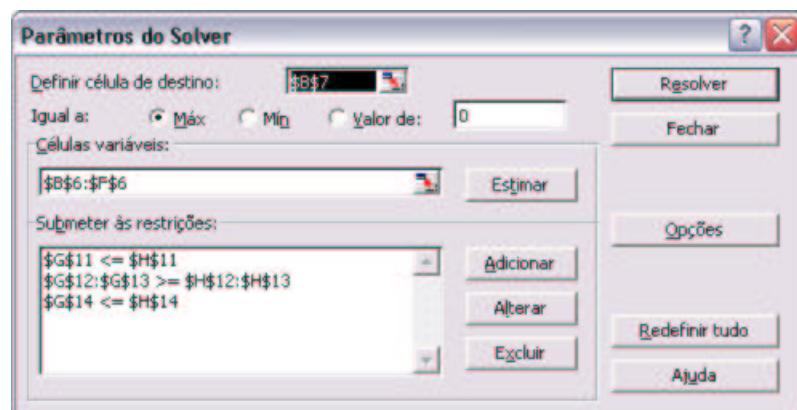


Figura 1.11: Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER

A LCL Motores deseja determinar quantos motores devem ser produzidos em sua fábrica e quantos devem ser produzidos de forma terceirizada para atender à demanda de pedidos.

Seja  $F_i$  o número de motores fabricados pela LCL do modelo  $i$  ( $i=1,2,3$ ) e  $T_i$  o número de motores terceirizados pela LCL do modelo  $i$  ( $i=1,2,3$ ).

O modelo de decisão do problema é dado a seguir.

Para resolvemos este PPL, devemos proceder da mesma forma apresentada no exemplo da seção 1.2.1, só que o modelo deve ser parecido com o da figura 1.13.

A figura 1.13 apresenta uma das possíveis maneiras de representar o PPL em uma planilha do Excel. Nesta planilha as células a seguir designarão cada uma das entidades:

- B7 irá representar o valor da FO a ser minimizada;
  - B6 a G6 representarão os valores que as variáveis de decisão assumirão na solução;
  - H11 a H15 irão representar os LHS das 5 restrições;
  - I11 a I15 irão representar os RHS das 5 restrições.

As fórmulas utilizadas são apresentadas na tabela a seguir.

Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do Exemplo 3

|     |  |
|-----|--|
| B7  | =B6*B5+C6*C5+D6*D5+E6*E5+F6*F5+G6*G5                               |
| H11 | =B11*\$B\$6+C11*\$C\$6+D11*\$D\$6+E11*\$E\$6+F11*\$F\$6+G11*\$G\$6 |
| H12 | =B12*\$B\$6+C12*\$C\$6+D12*\$D\$6+E12*\$E\$6+F12*\$F\$6+G12*\$G\$6 |
| H13 | =B13*\$B\$6+C13*\$C\$6+D13*\$D\$6+E13*\$E\$6+F13*\$F\$6+G13*\$G\$6 |
| H14 | =B14*\$B\$6+C14*\$C\$6+D14*\$D\$6+E14*\$E\$6+F14*\$F\$6+G14*\$G\$6 |
| H15 | =B15*\$B\$6+C15*\$C\$6+D15*\$D\$6+E15*\$E\$6+F15*\$F\$6+G15*\$G\$6 |

A janela com os parâmetros do SOLVER é apresentada na figura 1.14 e a planilha com os resultados é mostrada na figura 1.15.

#### 1.2.4 Problema da Escolha de Carteira de Investimentos

A LCL Investimentos S.A. gerencia recursos de terceiros através da escolha de carteiras de investimentos para diversos clientes, baseados em *bonds* de diversas empresas. Um de seus clientes exige que:

|    | A          | B     | C     | D                       | E                       | F     | G   | H              |
|----|------------|-------|-------|-------------------------|-------------------------|-------|-----|----------------|
| 1  |            |       |       |                         |                         |       |     | <b>B M O P</b> |
| 2  |            |       |       |                         |                         |       |     |                |
| 3  | Função     |       |       |                         | Coeficiente da Variável |       |     |                |
| 4  | Objetivo   | X1    | X2    | X3                      | X4                      | X5    |     |                |
| 5  |            | 0,126 | 0,121 | 0,116                   | 0,119                   | 0,098 |     |                |
| 6  | Variáveis  | 0     | 0     | 6                       | 6                       | 0     |     |                |
| 7  | Z=         | 1,41  |       |                         |                         |       |     |                |
| 8  |            |       |       |                         |                         |       |     |                |
| 9  | Restrições |       |       | Coeficiente da Variável |                         |       |     | Constantes     |
| 10 | Nº         | X1    | X2    | X3                      | X4                      | X5    | LHS | RHS            |
| 11 | 1          | 1     | 1     | 1                       | 1                       | 1     | 12  | 12             |
| 12 | 2          |       |       |                         | 1                       | 1     | 6   | 4,8            |
| 13 | 3          | -0,05 | -0,05 | 1                       |                         |       | 6   | 0              |
| 14 | 4          | 0,06  | 0,03  | -0,01                   | 0,01                    | -0,02 | 0   | 0              |

Figura 1.12: Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.2

|    | A          | B   | C  | D                       | E                       | F  | G   | H   | I                        |
|----|------------|-----|----|-------------------------|-------------------------|----|-----|-----|--------------------------|
| 1  |            |     |    |                         |                         |    |     |     | <b>LCL Motores Ltda.</b> |
| 2  |            |     |    |                         |                         |    |     |     |                          |
| 3  | Função     |     |    |                         | Coeficiente da Variável |    |     |     |                          |
| 4  | Objetivo   | F1  | F2 | F3                      | T1                      | T2 | T3  |     |                          |
| 5  |            | 50  | 90 | 120                     | 65                      | 92 | 140 |     |                          |
| 6  | Variáveis  |     |    |                         |                         |    |     |     |                          |
| 7  | Z=         | 0   |    |                         |                         |    |     |     |                          |
| 8  |            |     |    |                         |                         |    |     |     |                          |
| 9  | Restrições |     |    | Coeficiente da Variável |                         |    |     |     | Constantes               |
| 10 | Nº         | F1  | F2 | F3                      | T1                      | T2 | T3  | LHS | RHS                      |
| 11 | 1          | 1   | 2  | 0,5                     |                         |    |     | 0   | 6000                     |
| 12 | 2          | 2,5 | 1  | 4                       |                         |    |     | 0   | 10000                    |
| 13 | 3          | 1   |    |                         | 1                       |    |     | 0   | 3000                     |
| 14 | 4          |     | 1  |                         |                         | 1  |     | 0   | 2500                     |
| 15 | 5          |     |    | 1                       |                         |    | 1   | 0   | 500                      |

Figura 1.13: Modelagem do Exemplo da seção 1.2.3 no Excel

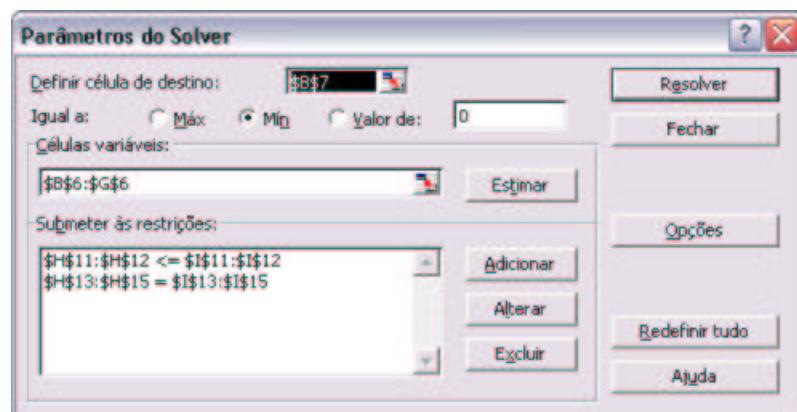


Figura 1.14: Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER

- Não mais de 25% do total aplicado deve ser investido em um único investimento.
- Um valor superior a 50% do total aplicado deve ser investido em títulos de maturidades maiores que 10 anos.
- O total aplicado em títulos de alto risco deve ser, no máximo, de 50% do total investido.

A tabela a seguir mostra os dados dos títulos selecionados. Determine qual percentual do total deve ser aplicado em cada tipo de título.

|                 | Retorno Anual | Anos para Vencimento | Risco           |
|-----------------|---------------|----------------------|-----------------|
| <b>Título 1</b> | 8,7%          | 15                   | 1 - muito baixo |
| <b>Título 2</b> | 9,5%          | 12                   | 3 - regular     |
| <b>Título 3</b> | 12,0%         | 8                    | 4 - alto        |
| <b>Título 4</b> | 9,0%          | 7                    | 2 - baixo       |
| <b>Título 5</b> | 13,0%         | 11                   | 4 - alto        |
| <b>Título 6</b> | 20,0%         | 5                    | 5 - muito alto  |

Seja  $P_i$  o percentual do total aplicado no título do tipo  $i = 1, \dots, 6$ .

$$\begin{aligned}
 & \max \quad \sum_{j=1}^6 c_j * P_j \\
 \text{s.a.} \quad & P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 100 \\
 & P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 \geq 50 \\
 & P_3 + P_5 + P_6 \leq 50 \\
 & P_i \leq 25, \forall i = 1, \dots, 6 \\
 & P_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, 6
 \end{aligned}$$

onde  $c = \begin{bmatrix} 0,00087 \\ 0,00095 \\ 0,00120 \\ 0,00090 \\ 0,00130 \\ 0,00200 \end{bmatrix}$  e  $P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix}$

Para resolvemos este PPL, devemos proceder da mesma forma apresentada no exemplo da seção 1.2.1, só que o modelo deve ser parecido com o da figura 1.16.

A figura 1.16 apresenta uma das possíveis maneiras de representar o PPL em uma planilha do Excel. Nesta planilha as células a seguir designarão cada uma das entidades:

- B7 irá representar o valor da FO a ser maximizada;
- B6 a G6 representarão os valores que as variáveis de decisão assumirão na solução;
- H11 a H19 irão representar os LHS das 9 restrições;
- I11 a I19 irão representar os RHS das 9 restrições.

As fórmulas utilizadas são apresentadas na tabela a seguir.

|    | A                        | B                       | C   | D   | E  | F    | G   | H          | I     |
|----|--------------------------|-------------------------|-----|-----|----|------|-----|------------|-------|
| 1  | <b>LCL Motores Ltda.</b> |                         |     |     |    |      |     |            |       |
| 2  |                          |                         |     |     |    |      |     |            |       |
| 3  | Função                   |                         |     |     |    |      |     |            |       |
| 4  | Objetivo                 | F1                      | F2  | F3  | T1 | T2   | T3  |            |       |
| 5  |                          | 50                      | 90  | 120 | 65 | 92   | 140 |            |       |
| 6  | Variáveis                | 3000                    | 500 | 500 | 0  | 2000 | 0   |            |       |
| 7  | Z=                       | 439000                  |     |     |    |      |     |            |       |
| 8  |                          |                         |     |     |    |      |     |            |       |
| 9  | Restrições               | Coeficiente da Variável |     |     |    |      |     | Constantes |       |
| 10 | Nº                       | F1                      | F2  | F3  | T1 | T2   | T3  | LHS        | RHS   |
| 11 | 1                        | 1                       | 2   | 0,5 |    |      |     | 4250       | 6000  |
| 12 | 2                        | 2,5                     | 1   | 4   |    |      |     | 10000      | 10000 |
| 13 | 3                        | 1                       |     |     | 1  |      |     | 3000       | 3000  |
| 14 | 4                        |                         | 1   |     |    | 1    |     | 2500       | 2500  |
| 15 | 5                        |                         |     | 1   |    |      | 1   | 500        | 500   |

Figura 1.15: Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.3

|    | A                             | B                       | C       | D      | E      | F      | G     | H          | I   |
|----|-------------------------------|-------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|------------|-----|
| 1  | <b>LCL Investimentos S.A.</b> |                         |         |        |        |        |       |            |     |
| 2  |                               |                         |         |        |        |        |       |            |     |
| 3  | Função                        |                         |         |        |        |        |       |            |     |
| 4  | Objetivo                      | P1                      | P2      | P3     | P4     | P5     | P6    |            |     |
| 5  |                               | 0,00087                 | 0,00095 | 0,0012 | 0,0009 | 0,0013 | 0,002 |            |     |
| 6  | Variáveis                     |                         |         |        |        |        |       |            |     |
| 7  | Z=                            | 0                       |         |        |        |        |       |            |     |
| 8  |                               |                         |         |        |        |        |       |            |     |
| 9  | Restrições                    | Coeficiente da Variável |         |        |        |        |       | Constantes |     |
| 10 | Nº                            | P1                      | P2      | P3     | P4     | P5     | P6    | LHS        | RHS |
| 11 | 1                             | 1                       | 1       | 1      | 1      | 1      | 1     | 0          | 100 |
| 12 | 2                             | 1                       | 1       |        |        | 1      |       | 0          | 50  |
| 13 | 3                             |                         |         | 1      |        | 1      | 1     | 0          | 50  |
| 14 | 4                             | 1                       |         |        |        |        |       | 0          | 25  |
| 15 | 5                             |                         | 1       |        |        |        |       | 0          | 25  |
| 16 | 6                             |                         |         | 1      |        |        |       | 0          | 25  |
| 17 | 7                             |                         |         |        | 1      |        |       | 0          | 25  |
| 18 | 8                             |                         |         |        |        | 1      |       | 0          | 25  |
| 19 | 9                             |                         |         |        |        |        | 1     | 0          | 25  |

Figura 1.16: Modelagem do Exemplo da seção 1.2.4 no Excel

Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do Exemplo 4

|     |  |
|-----|--|
| B7  | =B6*B5+C6*C5+D6*D5+E6*E5+F6*F5+G6*G5                               |
| H11 | =B11*\$B\$6+C11*\$C\$6+D11*\$D\$6+E11*\$E\$6+F11*\$F\$6+G11*\$G\$6 |
| H12 | =B12*\$B\$6+C12*\$C\$6+D12*\$D\$6+E12*\$E\$6+F12*\$F\$6+G12*\$G\$6 |
| H13 | =B13*\$B\$6+C13*\$C\$6+D13*\$D\$6+E13*\$E\$6+F13*\$F\$6+G13*\$G\$6 |
| H14 | =B14*\$B\$6+C14*\$C\$6+D14*\$D\$6+E14*\$E\$6+F14*\$F\$6+G14*\$G\$6 |
| H15 | =B15*\$B\$6+C15*\$C\$6+D15*\$D\$6+E15*\$E\$6+F15*\$F\$6+G15*\$G\$6 |
| H16 | =B16*\$B\$6+C16*\$C\$6+D16*\$D\$6+E16*\$E\$6+F16*\$F\$6+G16*\$G\$6 |
| H17 | =B17*\$B\$6+C17*\$C\$6+D17*\$D\$6+E17*\$E\$6+F17*\$F\$6+G17*\$G\$6 |
| H18 | =B18*\$B\$6+C18*\$C\$6+D18*\$D\$6+E18*\$E\$6+F18*\$F\$6+G18*\$G\$6 |
| H19 | =B19*\$B\$6+C19*\$C\$6+D19*\$D\$6+E19*\$E\$6+F19*\$F\$6+G19*\$G\$6 |

A janela com os parâmetros do SOLVER é apresentado na figura 1.17 e a planilha com os resultados é mostrada na figura 1.18.

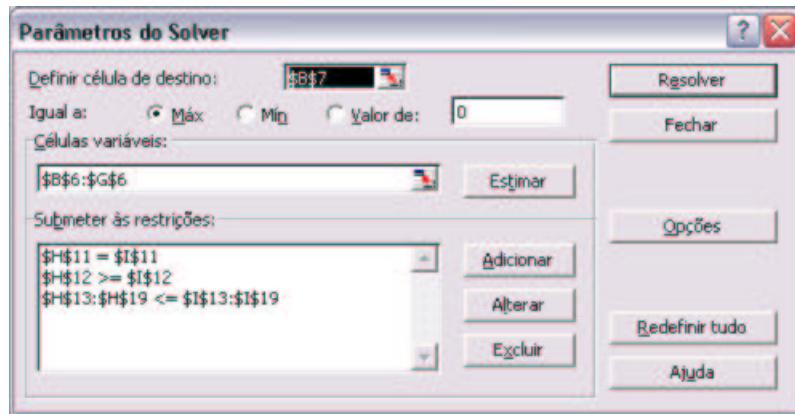


Figura 1.17: Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER

| LCL Investimentos S.A. |                         |         |        |        |        |       |            |     |
|------------------------|-------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|------------|-----|
|                        | Coeficiente da Variável |         |        |        |        |       |            |     |
| Função                 | P1                      | P2      | P3     | P4     | P5     | P6    |            |     |
| Objetivo               | 0,00087                 | 0,00095 | 0,0012 | 0,0009 | 0,0013 | 0,002 |            |     |
| Variáveis              | 0                       | 25      | 0      | 25     | 25     | 25    |            |     |
| Z=                     | 0,12875                 |         |        |        |        |       |            |     |
| Restrições             | Coeficiente da Variável |         |        |        |        |       | Constantes |     |
| Nº                     | P1                      | P2      | P3     | P4     | P5     | P6    | LHS        | RHS |
| 1                      | 1                       | 1       | 1      | 1      | 1      | 1     | 100        | 100 |
| 2                      | 1                       | 1       |        |        | 1      |       | 50         | 50  |
| 3                      |                         |         | 1      |        | 1      | 1     | 50         | 50  |
| 4                      | 1                       |         |        |        |        |       | 0          | 25  |
| 5                      |                         | 1       |        |        |        |       | 25         | 25  |
| 6                      |                         |         | 1      |        |        |       | 0          | 25  |
| 7                      |                         |         |        | 1      |        |       | 25         | 25  |
| 8                      |                         |         |        |        | 1      |       | 25         | 25  |
| 9                      |                         |         |        |        |        | 1     | 25         | 25  |

Figura 1.18: Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.4

### 1.2.5 Problema da Mistura de Petróleo

Uma refinaria processa vários tipos de petróleo. Cada tipo de petróleo possui uma planilha de custos diferente, expressando, condições de transporte e preços na origem. Por outro lado, cada tipo de petróleo representa uma configuração diferente de subprodutos para a gasolina. Na medida em que certo tipo de petróleo é utilizado na produção da gasolina, é possível a programação das condições de octanagem e outros requisitos. Esses requisitos implicam na classificação do tipo de gasolina obtida.

Supondo que a refinaria trabalhe com uma linha de quatro tipos diferentes de petróleo e deseje produzir as gasolinas amarela, azul e superazul, programar a mistura dos tipos de petróleo atendendo às condições que se seguem nas tabelas a seguir:

Quantidade Disponível de Petróleo

| Tipo de Petróleo | Quantidade Máxima Disponível (barril/dia) | Custos por Barril/dia (R\$) |
|------------------|---|-----------------------------|
| 1                | 3.500                                     | 19                          |
| 2                | 2.200                                     | 24                          |
| 3                | 4.200                                     | 20                          |
| 4                | 1.800                                     | 17                          |

Percentuais para Limites de Qualidade das Gasolinas

| Tipo de Gasolina | Especificação  | Preço de Venda (R\$/Barril) |
|------------------|--|-----------------------------|
| <i>Superazul</i> | Não mais que 30% de 1<br>Não menos que 40% de 2<br>Não mais que 50% de 3 | 35                          |
| <i>Azul</i>      | Não mais que 30% de 1<br>Não menos que 10% de 2                          | 28                          |
| <i>Amarela</i>   | Não mais que 70% de 1  | 22                          |

Onde  $x_{ij} \equiv$  número de barris de petróleo de tipo  $j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) que serão destinados à produção da gasolina  $i$  ( $i = A$ -gasolina Amarela,  $Z$ -gasolina aZul e  $S$ -gasolina Superazul).

O modelo de decisão para este problema é apresentado a seguir:

(a) *Função Objetivo:*

Maximizar  $Q(x) = 3x_{A1} - 2x_{A2} + 2x_{A3} - 5x_{A4} + 9x_{Z1} + 5x_{Z2} + 8x_{Z3} + x_{Z4} + 16x_{S1} + 11x_{S2} + 15x_{S3} + 8x_{S4}$

(b) *Restrições Tecnológicas:*

$$1) \ x_{A1} + x_{Z1} + x_{S1} \leq 3.500$$

$$2) \ x_{A2} + x_{Z2} + x_{S2} \leq 2.200$$

$$3) \ x_{A3} + x_{Z3} + x_{S3} \leq 4.200$$

- 4)  $x_{A4} + x_{Z4} + x_{S4} \leq 1.800$
- 5)  $0,7x_{S1} - 0,3x_{S2} - 0,3x_{S3} - 0,3x_{S4} \leq 0$
- 6)  $-0,4x_{S1} + 0,6x_{S2} - 0,4x_{S3} - 0,4x_{S4} \geq 0$
- 7)  $-0,5x_{S1} - 0,5x_{S2} + 0,5x_{S3} - 0,5x_{S4} \leq 0$
- 8)  $0,7x_{Z1} - 0,3x_{Z2} - 0,3x_{Z3} - 0,3x_{Z4} \leq 0$
- 9)  $0,9x_{Z1} - 0,1x_{Z2} - 0,1x_{Z3} - 0,1x_{Z4} \geq 0$
- 10)  $0,3x_{A1} - 0,7x_{A2} - 0,7x_{A3} - 0,7x_{A4} \leq 0$
- 11)  $x_{A1}, x_{A2}, x_{A3}, x_{A4}, x_{Z1}, x_{Z2}, x_{Z3}, x_{Z4}, x_{S1}, x_{S2}, x_{S3}, x_{S4} \geq 0$

Já definido o problema vamos agora modelá-lo no Excel.

Para resolvemos este PPL, devemos proceder da mesma forma apresentada no exemplo da seção 1.2.1, só que o modelo deve ser parecido com o da figura 1.19.

| A                          | B               | C                       | D               | E               | F               | G               | H               | I               | J               | K               | L               | M               | N   | O    | P |  |  |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|------|---|--|--|
| <b>MISTURA DE PETRÓLEO</b> |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
|                            |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
|                            |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
| Função                     |                 | Coeficiente da Variável |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
| Objetivo                   | X <sub>A1</sub> | X <sub>A2</sub>         | X <sub>A3</sub> | X <sub>A4</sub> | X <sub>Z1</sub> | X <sub>Z2</sub> | X <sub>Z3</sub> | X <sub>Z4</sub> | X <sub>S1</sub> | X <sub>S2</sub> | X <sub>S3</sub> | X <sub>S4</sub> |     |      |   |  |  |
|                            | 3               | -2                      | 2               | -5              | 9               | 5               | 8               | 1               | 16              | 11              | 15              | 8               |     |      |   |  |  |
| Variáveis                  |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
| Z=                         |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
| Restrições                 |                 | Coeficiente da Variável |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |     |      |   |  |  |
| Nº                         | X <sub>A1</sub> | X <sub>A2</sub>         | X <sub>A3</sub> | X <sub>A4</sub> | X <sub>Z1</sub> | X <sub>Z2</sub> | X <sub>Z3</sub> | X <sub>Z4</sub> | X <sub>S1</sub> | X <sub>S2</sub> | X <sub>S3</sub> | X <sub>S4</sub> | LHS | RHS  |   |  |  |
| 1                          | 1               |                         |                 |                 | 1               |                 |                 |                 | 1               |                 |                 |                 | 0   | 3500 |   |  |  |
| 2                          |                 | 1                       |                 |                 |                 | 1               |                 |                 |                 | 1               |                 |                 | 0   | 2200 |   |  |  |
| 3                          |                 |                         | 1               |                 |                 |                 | 1               |                 |                 |                 | 1               |                 | 0   | 4200 |   |  |  |
| 4                          |                 |                         |                 | 1               |                 |                 |                 | 1               |                 |                 |                 | 1               | 0   | 1800 |   |  |  |
| 5                          |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 0,7             | -0,3            | -0,3            | -0,3            | 0   | 0    |   |  |  |
| 6                          |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 | -0,4            | 0,6             | -0,4            | -0,4            | 0   | 0    |   |  |  |
| 7                          |                 |                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 | -0,5            | -0,5            | 0,5             | -0,5            | 0   | 0    |   |  |  |
| 8                          |                 |                         |                 |                 | 0,7             | -0,3            | -0,3            | -0,3            |                 |                 |                 |                 | 0   | 0    |   |  |  |
| 9                          |                 |                         |                 |                 | 0,9             | -0,1            | -0,1            | -0,1            |                 |                 |                 |                 | 0   | 0    |   |  |  |
| 10                         | 0,3             | -0,7                    | -0,7            | -0,7            |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 0   | 0    |   |  |  |

Figura 1.19: Modelagem do Exemplo da seção 1.2.5 no Excel

A figura 1.19 apresenta uma das possíveis maneiras de representar o PPL em uma planilha do Excel. Nesta planilha as células a seguir designarão cada uma das entidades:

- C7 irá representar o valor da FO a ser maximizada;
- C6 a N6 representarão os valores que as variáveis de decisão assumirão na solução;
- O11 a O20 irão representar os LHS das 10 restrições;

- P11 a P20 irão representar os RHS das 10 restrições.

As fórmulas utilizadas são apresentadas na tabela a seguir.

Fórmulas utilizadas nas células da modelagem do Exemplo 5

|     |   |
|-----|---|
| C7  | =C6*C5+D6*D5+E6*E5+...+M6*M5+N6*N5                          |
| P11 | =C11*\$C\$6+D11*\$D\$6+E11*\$E\$6+...+M11*\$M\$6+N11*\$N\$6 |
| P12 | =C12*\$C\$6+D12*\$D\$6+E12*\$E\$6+...+M12*\$M\$6+N12*\$N\$6 |
| P13 | =C13*\$C\$6+D13*\$D\$6+E13*\$E\$6+...+M13*\$M\$6+N13*\$N\$6 |
| P14 | =C14*\$C\$6+D14*\$D\$6+E14*\$E\$6+...+M14*\$M\$6+N14*\$N\$6 |
| P15 | =C15*\$C\$6+D15*\$D\$6+E15*\$E\$6+...+M15*\$M\$6+N15*\$N\$6 |
| P16 | =C16*\$C\$6+D16*\$D\$6+E16*\$E\$6+...+M16*\$M\$6+N16*\$N\$6 |
| P17 | =C17*\$C\$6+D17*\$D\$6+E17*\$E\$6+...+M17*\$M\$6+N17*\$N\$6 |
| P18 | =C18*\$C\$6+D18*\$D\$6+E18*\$E\$6+...+M18*\$M\$6+N18*\$N\$6 |
| P19 | =C19*\$C\$6+D19*\$D\$6+E19*\$E\$6+...+M19*\$M\$6+N19*\$N\$6 |
| P20 | =C20*\$C\$6+D20*\$D\$6+E20*\$E\$6+...+M20*\$M\$6+N20*\$N\$6 |

A janela com os parâmetros do SOLVER é apresentado na figura 1.20 e a planilha com os resultados é mostrada na figura 1.21.

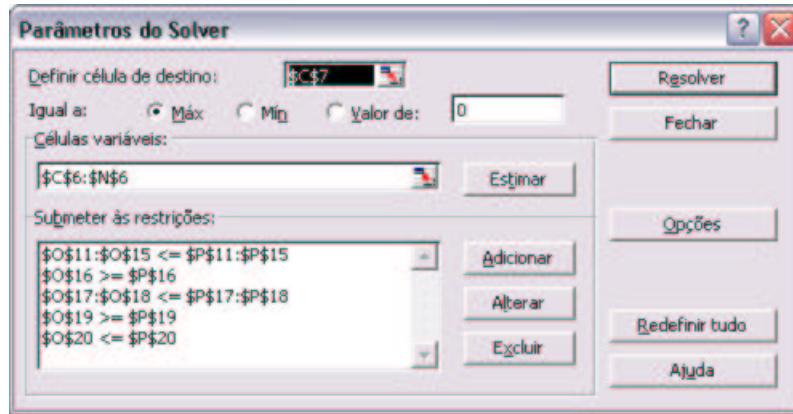


Figura 1.20: Janela de entrada dos parâmetros do SOLVER

| A                          | B | C                              | D   | E    | F    | G    | H   | I    | J    | K    | L    | M    | N    | O    | P     |      |
|----------------------------|---|--------------------------------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| <b>MISTURA DE PETRÓLEO</b> |   |                                |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                            |   |                                |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                            |   |                                |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                            |   |                                |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| <b>Função</b>              |   | <b>Coeficiente da Variável</b> |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| <b>Objetivo</b>            |   | XA1                            | XA2 | XA3  | XA4  | XZ1  | XZ2 | XZ3  | XZ4  | XS1  | XS2  | XS3  | XS4  |      |       |      |
|                            |   | 3                              | -2  | 2    | -5   | 9    | 5   | 8    | 1    | 16   | 11   | 15   | 8    |      |       |      |
| <b>Variáveis</b>           |   | 0                              | 0   | 0    | 0    | 1850 | 0   | 4200 | 150  | 1650 | 2200 | 0    | 1650 |      |       |      |
| <b>Z=</b>                  |   | 114200                         |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                            |   |                                |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| <b>Restrições</b>          |   | <b>Coeficiente da Variável</b> |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|                            |   | Nº                             | XA1 | XA2  | XA3  | XA4  | XZ1 | XZ2  | XZ3  | XZ4  | XS1  | XS2  | XS3  | XS4  | LHS   | RHS  |
|                            |   | 1                              | 1   |      |      |      | 1   |      |      |      | 1    |      |      |      | 3500  | 3500 |
|                            |   | 2                              |     | 1    |      |      |     | 1    |      |      |      | 1    |      |      | 2200  | 2200 |
|                            |   | 3                              |     |      | 1    |      |     |      | 1    |      |      |      | 1    |      | 4200  | 4200 |
|                            |   | 4                              |     |      |      | 1    |     |      |      | 1    |      |      |      | 1    | 1800  | 1800 |
|                            |   | 5                              |     |      |      |      |     |      |      |      | 0,7  | -0,3 | -0,3 | -0,3 | 0     | 0    |
|                            |   | 6                              |     |      |      |      |     |      |      |      | -0,4 | 0,6  | -0,4 | -0,4 | 0     | 0    |
|                            |   | 7                              |     |      |      |      |     |      |      |      | -0,5 | -0,5 | 0,5  | -0,5 | -2750 | 0    |
|                            |   | 8                              |     |      |      |      | 0,7 | -0,3 | -0,3 | -0,3 |      |      |      |      | -10   | 0    |
|                            |   | 9                              |     |      |      |      | 0,9 | -0,1 | -0,1 | -0,1 |      |      |      |      | 1230  | 0    |
|                            |   | 10                             | 0,3 | -0,7 | -0,7 | -0,7 |     |      |      |      |      |      |      |      | 0     | 0    |

Figura 1.21: Resultados inseridos na planilha para o exemplo da seção 1.2.5

# Bibliografia

- [1] M. C .Goldbarg e H. P. L. Luna. *Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2000.
- [2] Helmut Kopka and Patrick W. Dale. *A Guide to LATEX*. Addison-Wesley, Harlow, England, 3rd edition, 1999.
- [3] Gerson Lachtermacher. *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2002.