

1. Resolução de problemas de Programação Linear utilizando Excel

O *software* Excel resolve problemas de Programação Linear através da ferramenta "Solver".

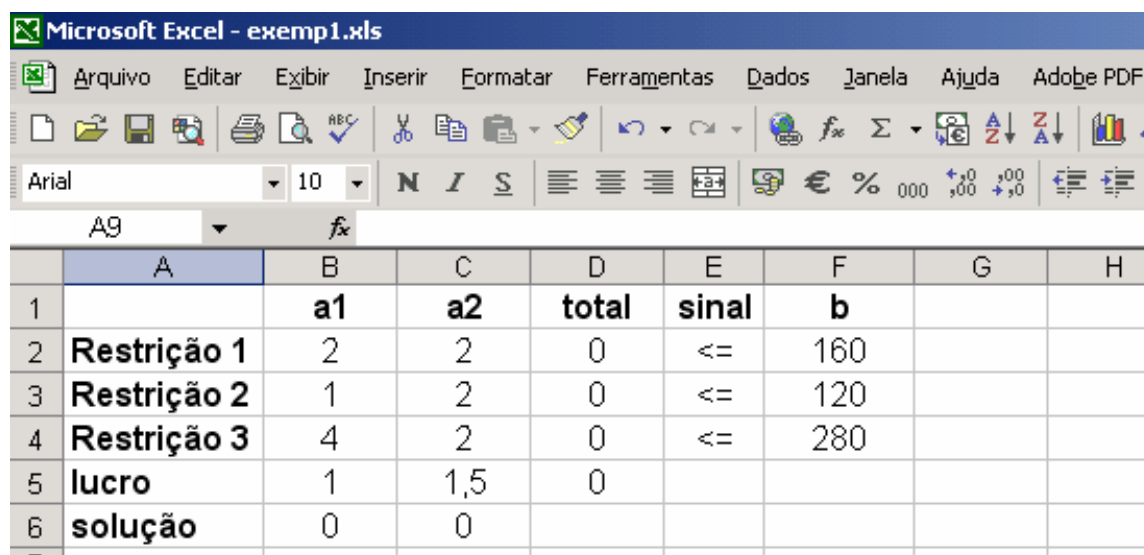
Retomando um problema de Programação Linear já citado, tem-se:

$$\text{Max lucro}(x_1, x_2) = Z = x_1 + 1.5x_2$$

Sujeito a:

$$\begin{cases} 2x_1 + 2x_2 \leq 160 \\ x_1 + 2x_2 \leq 120 \\ 4x_1 + 2x_2 \leq 280 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Para resolver este problema utilizando o Excel, deve-se montar a seguinte planilha:



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a spreadsheet titled "exemp1.xls". The spreadsheet contains the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		a1	a2	total	sinal	b		
2	Restrição 1	2	2	0	<=	160		
3	Restrição 2	1	2	0	<=	120		
4	Restrição 3	4	2	0	<=	280		
5	lucro	1	1,5	0				
6	solução	0	0					

Os valores nas linhas 2, 3 e 4 com as colunas B e C correspondem aos coeficientes das restrições.

Os valores nas linhas 2, 3 e 4 com a coluna D correspondem ao total para cada restrição em função dos valores x_1 e x_2 .

Os valores nas linhas 2, 3 e 4 com a coluna F correspondem aos valores do lado direito das restrições (recursos).

Os valores na linha 5 com as colunas B e C correspondem aos coeficientes da função objetivo.

Os valores na linha 6 com as colunas B e C correspondem aos valores de x_1 e x_2 .

O valor da célula D5 é o valor da função objetivo Z.

A coluna E é apenas ilustrativa, mostrando o sinal das inequações.

Na célula D2 é digitada a seguinte fórmula:

`=SOMARPRODUTO(B2:C2;B6:C6)`

ou

`=B2*B5 + C2*C5`

Nas células D3, D4 e D5, pode-se utilizar a opção de auto preenchimento do Excel clicando sobre a célula D2 e então arrastando o mouse até a linha 5. Observação: após clicar sobre a célula D2 está ficará com a borda realçada. Sobre esta borda, no canto inferior direito aparece um quadrado e então deve-se posicionar o *mouse* sobre este quadrado para o auto preenchimento. A figura abaixo mostra este quadrado sendo indicado por uma flecha vermelha.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		a1	a2	total	sinal	b		
2	Restrição 1	2	2	0	<=	160		
3	Restrição 2	1	2	0	<=	120		
4	Restrição 3	4	2	0	<=	280		
5	lucro	1	1,5	0				
6	solução	0	0					
7								

As células D3, D4 e D5 devem então ficar com as seguintes fórmulas, respectivamente:

=SOMARPRODUTO(B3:C3;\$B\$6:\$C\$6)

=SOMARPRODUTO(B4:C4;\$B\$6:\$C\$6)

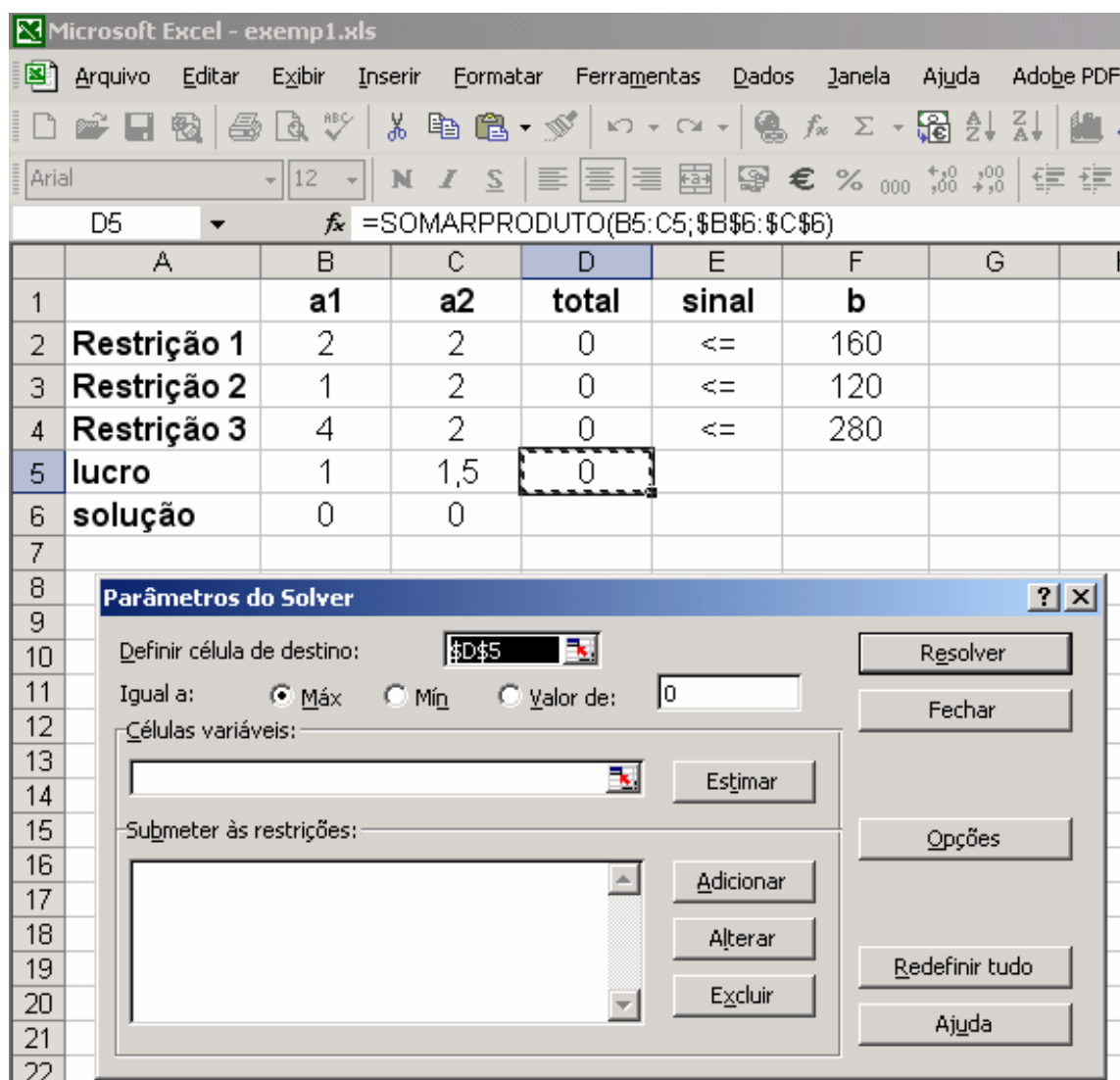
=SOMARPRODUTO(B5:C5;\$B\$6:\$C\$6)

Uma vez adicionadas estas fórmulas à planilha pode-se alterar os valores das células B6 e C6, que correspondem aos valores de x_1 e x_2 , e verificar que os valores das células D2, D3, D4 e D5 (coluna "total") são alterados automaticamente. Neste ponto a planilha está pronta para utilizar a ferramenta "Solver", que irá resolver o problema de Programação Linear.

O comando *Solver* encontra-se no menu "Ferramentas". Caso este comando não esteja disponível no menu Ferramentas, deve-se clicar em Ferramentas → Suplementos e selecionar a opção *Solver*.

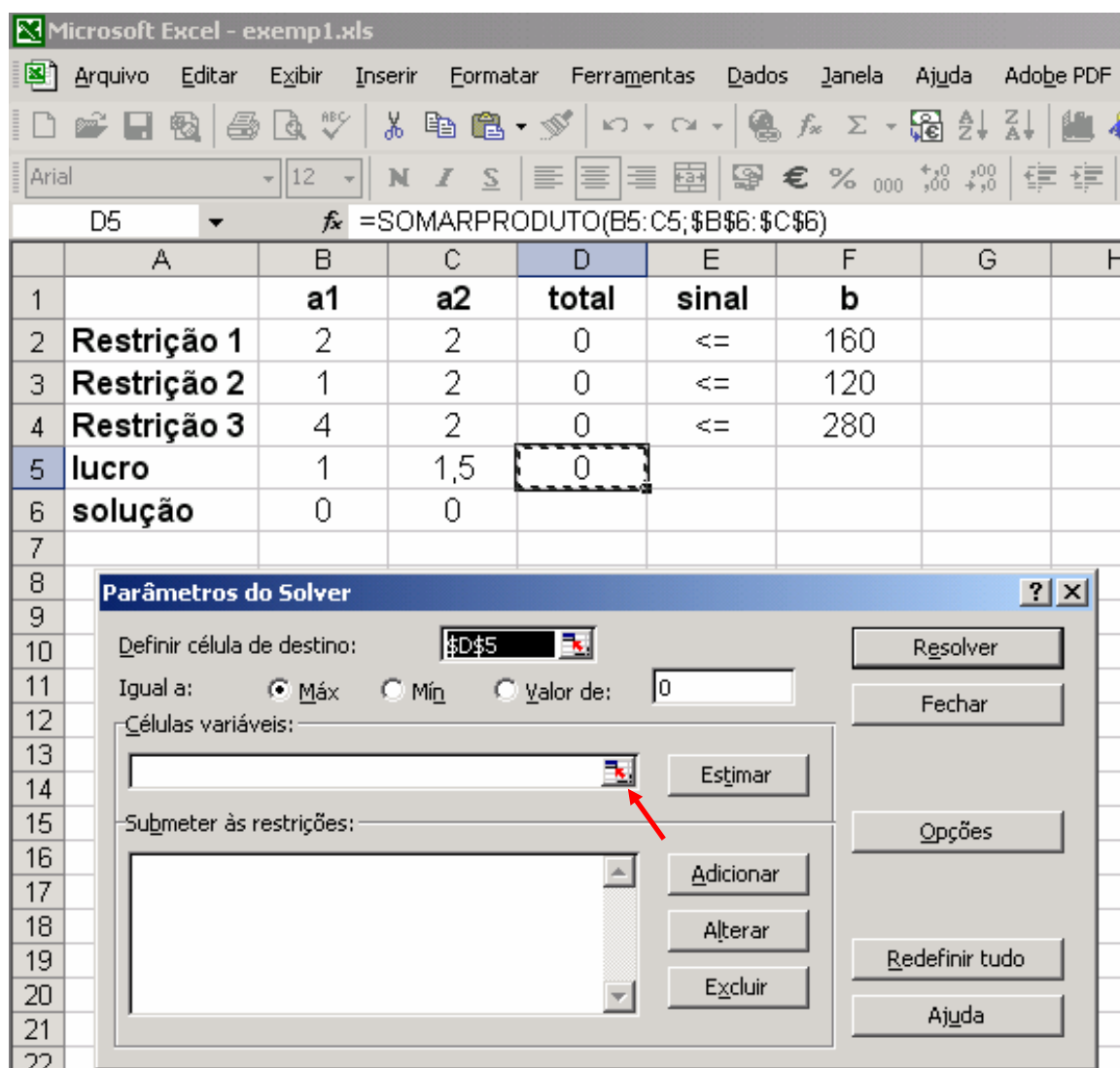
Para ativar o comando *Solver* deve-se clicar sobre a célula D5, que corresponde ao valor da função objetivo, e após em Ferramentas → Solver. A

janela “Parâmetros do Solver” então irá aparecer sobre a planilha. A figura abaixo mostra a planilha neste estágio.



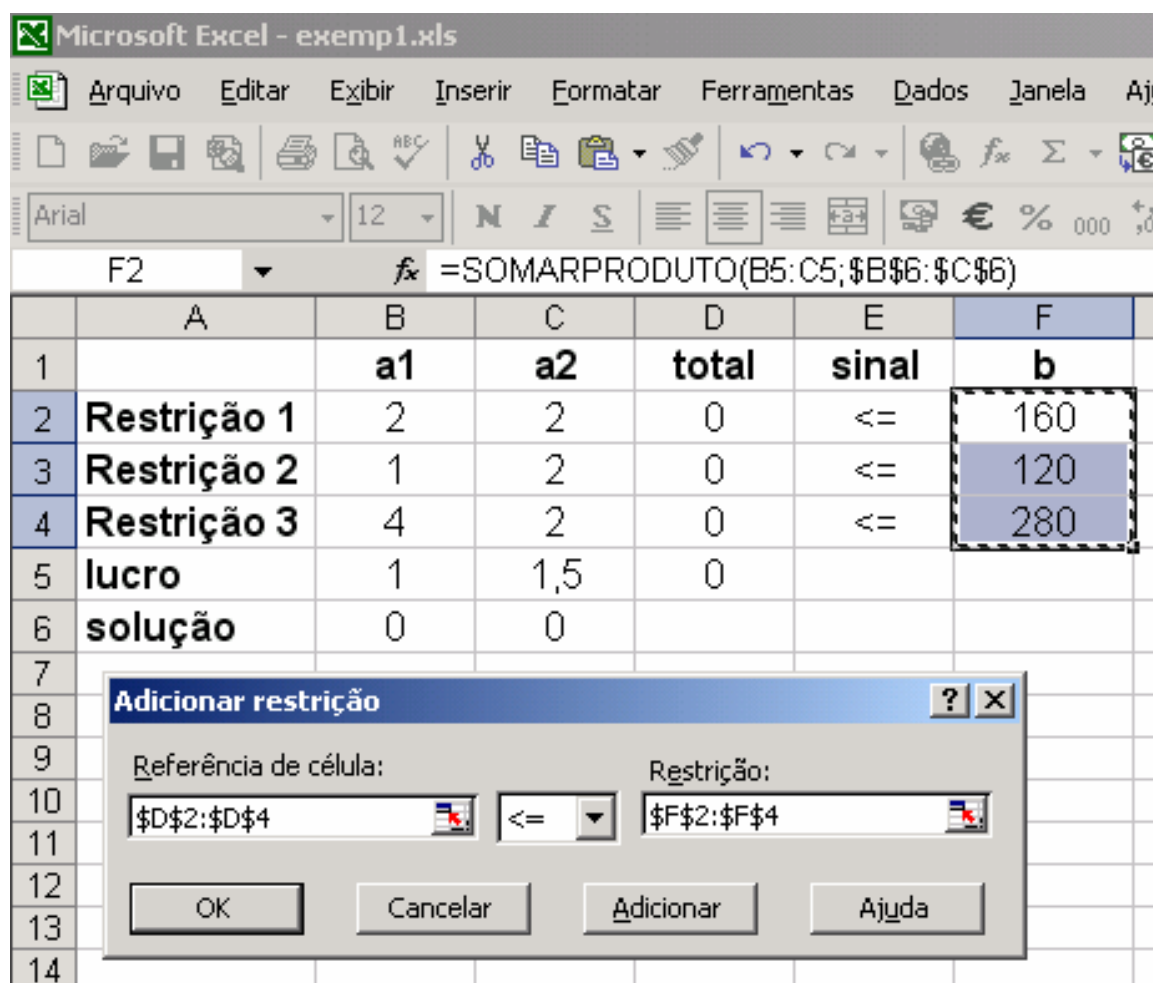
Nesta janela, o campo “Definir célula de destino:” aparece o valor `D5`, que corresponde ao valor da função objetivo.

O campo “Células variáveis” corresponde aos valores de x_1 e x_2 . Assim, pode-se selecionar com o mouse as células correspondentes (B6 e C6) clicando na posição indicada pela seta vermelha na figura abaixo.



Após selecionar as células B6 e C6, deve-se clicar na caixa "Adicionar" para inserir as restrições. Estas podem ser selecionadas com o *mouse* de maneira análoga a realizada para selecionar as "Células variáveis".

Após clicar na caixa "Adicionar" irá aparecer outra janela denominada "Adicionar restrição". Nesta janela o campo "Referência de célula:" deve-se selecionar as células D2, D3 e D4 e no campo "Restrição" deve-se selecionar as células F2, F3 e F4. A figura abaixo mostra como deve ficar esta janela.



Após estas seleções deve-se clicar na caixa "Opções" na janela "Parâmetros do Solver" e verificar se o campo "Presumir modelo linear" está selecionado. O campo "Presumir não negativos" deve ser selecionado também caso os valores das variáveis devam ser não negativos.

De volta a janela "Parâmetros do Solver" clica-se na caixa "Resolver", que irá então resolver o problema de Programação Linear. A figura abaixo mostra a planilha com o resultado ótimo.

	A	B	C	D	E	F
1		a1	a2	total	sinal	b
2	Restrição 1	2	2	160	<=	160
3	Restrição 2	1	2	120	<=	120
4	Restrição 3	4	2	240	<=	280
5	lucro	1	1,5	100		
6	solução	40	40			

Como se pode notar, os valores das células B6 e C6 são iguais a 40, ou seja, os valores de x_1 e x_2 são iguais a 40 (valores ótimos). A célula D5, com valor igual a 100, corresponde ao valor da função objetivo.

Após a resolução, aparece uma janela denominada "Resultados do Solver", sendo que no canto direito aparece um campo denominado "Relatórios". Pode-se então selecionar as opções de relatório disponíveis para visualizar demais resultados.

1.1 Programação Linear Inteira

Quando se faz necessário que uma ou mais variáveis de controle sejam inteiras utiliza-se restrições adicionais. Considere a seguinte planilha:

Microsoft Excel - programacao_int.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10 N I S

B10 fx

	A	B	C	D	E	F
1		a1	a2	total	senal	b
2	Restrição 1	2,5	2	0	<=	160
3	Restrição 2	1	2	0	<=	120
4	Restrição 3	4	2	0	<=	280
5	lucro	1	1,5	0		
6	solução	0	0			
7						

A solução ótima (contínua) é:

Microsoft Excel - programacao_int.xls

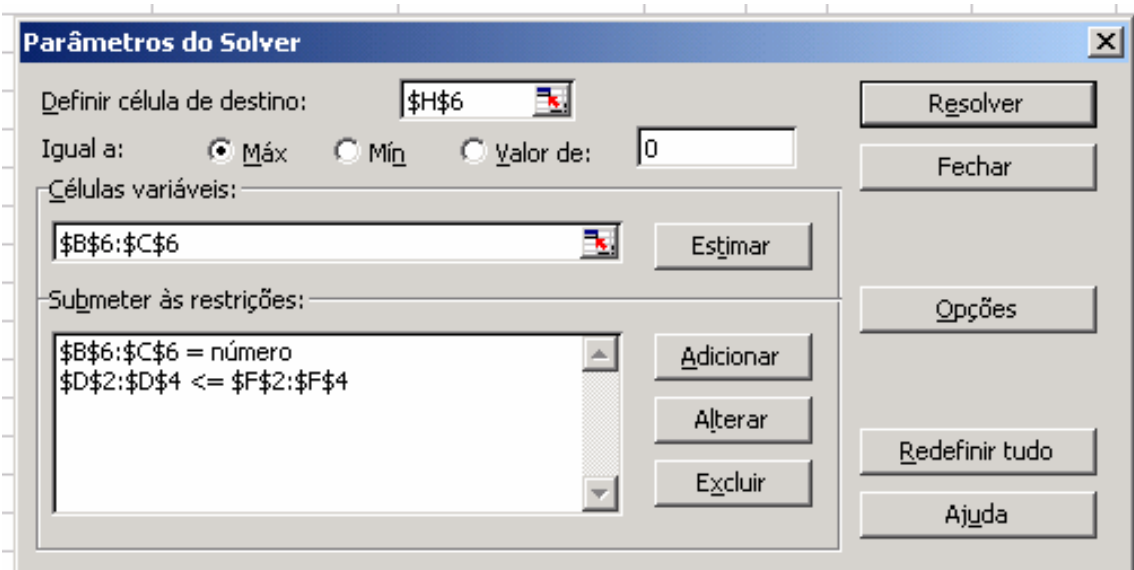
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela

Arial 10 N I S

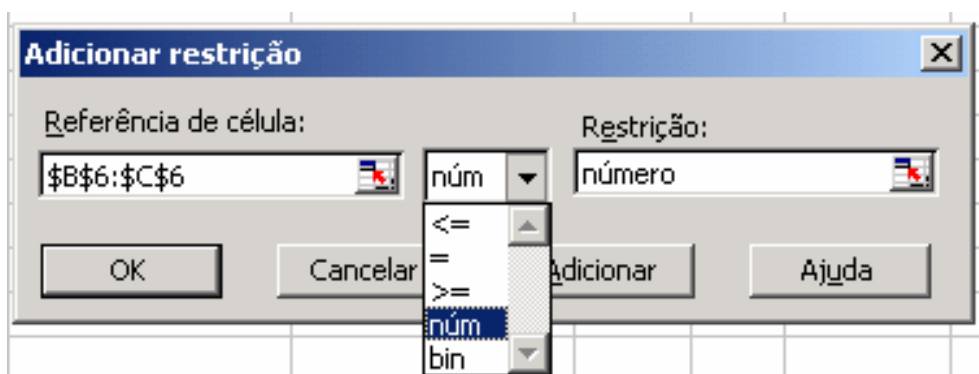
C12 fx

	A	B	C	D	E	F
1		a1	a2	total	senal	b
2	Restrição 1	2,5	2	160	<=	160
3	Restrição 2	1	2	120	<=	120
4	Restrição 3	4	2	200	<=	280
5	lucro	1	1,5	96,667		
6	solução	26,667	46,667			
7						

Para se obter a solução ótima inteira, deve-se acrescentar a seguinte uma restrição indicando que as células B6 e C6 assumam apenas valores inteiros. A caixa "parâmetros do Solver" deve ficar assim:



A primeira restrição ($\$B\$6:\$C\$6 = \text{número}$) é a que "força" as células B6 e C6 serem inteiras. Esta restrição é implementada na caixa "Adicionar" como na figura abaixo.



A solução ótima (inteira) é:

	A	B	C	D	E	F
1		a1	a2	total	sinal	b
2	Restrição 1	2,5	2	159	<=	160
3	Restrição 2	1	2	120	<=	120
4	Restrição 3	4	2	198	<=	280
5	lucro	1	1,5	96,5		
6	solução	26	47			
7						

2. Resolução de problemas de Programação Linear utilizando Lindo

A modelagem do problema de programação linear no *software* Lindo se dá de maneira bastante semelhante à modelagem escrita manualmente.

O modelo de programação linear deve ser digitado no seu próprio editor (ou outro editor qualquer sendo o arquivo salvo no formato ASCII). O editor é carregado no menu FILE → OPEN (se já possui algum arquivo) ou FILE → NEW (para começar um novo arquivo). O texto abaixo mostra o problema de programação linear dado em 1) para o Lindo (este texto pode ser copiado e colado no editor do Lindo):

```

.....
! A EXCLAMACAO E ´ COMENTARIO
MAX 1 X1 + 1.5 X2 !FUNCAO OBJETIVO, PODE SER MIN PARA MINIMIZAR
SUBJECT TO ! COMECA AS RESTRICOES
REST1) 2 X1 + 2 X2 <= 160 !REST1) E ´ O NOME DA RESTRICAO 1, PODERIA SER OUTRO
REST2) 1 X1 + 2 X2 <= 120
REST3) 4 X1 + 2 X2 <= 280
END !TERMINA AS RESTRICOES

```

!INT E' O COMANDO UTILIZADO PARA FORCAR AS VARIAVEIS ASSUMIREM VALORES 0 E 1

!EXEMPLO:

!INT 2 !FORCA AS DUAS VARIAVEIS A ASSUMIREM VALORES 0 E 1

!INT X1 !FORCA APENAS A VARIABEL X1 ASSUMIR VALOR 0 E 1

!GIN E' O COMANDO UTILIZADO PARA FORCAR AS VARIAVEIS ASSUMIREM VALORES !INTEIROS

!EXEMPLO:

!GIN 2 !FORCA AS DUAS VARIAVEIS A ASSUMIREM VALORES INTEIROS

!GIN X1 !FORCA APENAS A VARIABEL X1 ASSUMIR VALOR INTEIRO

.....

Após digitado o modelo, o problema é resolvido através do menu SOLVE
→SOLVE.

3. Resolução de problemas de Programação Linear utilizando LINGO

O LINGO é um *software* para otimização de problemas lineares e não-lineares. Este *software* permite utilizar uma sintaxe específica de tal modo que grandes problemas podem ser descritos de concisa. Segue abaixo um exemplo desta sintaxe para um Problema de Transporte (obs: no caso de programação linear, a mesma sintaxe utilizada no *software* Lindo pode ser utilizada também).

.....

MODEL:

!isso é um comentário
!setname / member_list / : attribute_list

Implicit member_list Format	Example	Set Members
1..n	1..5	1, 2, 3, 4, 5
stringM..stringN	O1..O3	O1,O2,O3
dayM..dayN	MON..FRI	MON, TUE, WED, THU, FRI
monthM..monthN	OCT..JAN	OCT, NOV, DEC, JAN
monthYearM..monthYearN	OCT2001..JAN2002	OCT2001, NOV2001, DEC2001, JAN2002

attribute_list (PODE SER MAIS DE UM)
ORIGENS / O1..O3 / : OFERTA, LOCALIZACAO, PATIOS;

```
SETS:
!      ORIGENS / O1 O2 O3 / : OFERTA;
!      ORIGENS / O1 .. O3 / : OFERTA;
      ORIGENS /@FILE('transporte.ldt')/ : OFERTA;

!      DESTINOS / D1 D2 D3 D4 / : DEMANDA;
!      DESTINOS / D1 .. D4 / : DEMANDA;
      DESTINOS /@FILE('transporte.ldt')/ : DEMANDA;

      LINKS(ORIGENS, DESTINOS): CUSTO, FLUXO;
ENDSETS
!FUNÇÃO OBJETIVO;
MIN = @SUM(LINKS(I,J): CUSTO(I,J)*FLUXO(I,J));

!RESTRIÇÕES PARA ORIGENS;
@FOR(ORIGENS(I):
      @SUM(DESTINOS(J):FLUXO(I,J))=OFERTA(I));
!RESTRIÇÕES PARA DESTINOS;
@FOR(DESTINOS(J):
      @SUM(ORIGENS(I):FLUXO(I,J))=DEMANDA(J));
!DADOS;
DATA:
!      OFERTA = 75 125 100;
!      DEMANDA = 80 65 70 85;
!      CUSTO = 464 513 654 867
              352 416 690 791
              995 682 388 685;
      OFERTA = @FILE( 'transporte.ldt');
      DEMANDA = @FILE( 'transporte.ldt');
      CUSTO = @FILE( 'transporte.ldt');

ENDDATA
END
```

.....

Segue abaixo a estrutura do arquivo transporte.ldt utilizado no exemplo acima, com os dados do problema (3 origens, 4 destinos, oferta em cada origem, demanda em cada destino, custos da origem i para o destino j). O caractere "~" delimita o conjunto de informações que é carregada a cada chamada do arquivo.

o1..o3 ~

d1..d4 ~

166057.15
673249.27
160693.58
~

283146.05

267488.36
392904.17
56461.42
~

41.93
90.50
87.74
58.94
98.76
4.36
39.85
87.36
11.06
32.79
87.52
45.90
~

4. Resolução de problemas de Programação Linear utilizando MPL

O software MPL, ao contrario do Lindo, permite que se utilizem vários "Solvers", inclusive o próprio Lindo, para a resolução dos problemas de programação linear. A modelagem se dá de maneira bastante parecida com a modelagem utilizada no Lindo. O texto abaixo mostra o problema de programação linear dado em 1) para o MPL (este texto pode ser copiado e colado no editor do MPL):

```
.....  
! A EXCLAMACAO E ´ COMENTARIO  
MAX X1 + 1.5 X2 !FUNCAO OBJETIVO, PODE SER MIN PARA MINIMIZAR  
Subject to  
2 X1 + 2 X2 <= 160;  
X1 + 2 X2 <= 120;  
4 X1 + 2 X2 <= 280;  
  
!BINARY FORCAR AS VARIAVEIS ASSUMIREM VALORES 0 E 1  
!EXEMPLO:  
!BINARY X1 !FORCA APENAS A VARIABEL X1 ASSUMIR VALOR 0 E 1
```

!INTEGER E' O COMANDO UTILIZADO PARA FORCAR AS VARIÁVEIS ASSUMIREM VALORES INTEIROS

!EXEMPLO:

!INTEGER X1 !FORÇA APENAS A VARIÁVEL X1 ASSUMIR VALOR INTEIRO

!FREE E' O COMANDO UTILIZADO PARA AS VARIÁVEIS ASSUMIREM VALORES LIVRES

!EXEMPLO:

!FREE X1 !DEIXA APENAS A VARIÁVEL X1 ASSUMIR VALOR 0 E 1

.....

Depois de digitado o modelo, o problema é resolvido através do menu RUN→SOLVE CPLEX. Este comando irá executar o CPLEX como *Solver*. O Comando SOLVE Conopt irá executar o Conopt como *Solver*.

O principal problema em escrever o problema de Programação Linear como acima é que para problemas grandes, tal notação se torna inviável.

Porém, é possível escrever o problema utilizando uma notação reduzida, que será então interpretada pelo software.

Segue abaixo um exemplo para o problema de Programação Linear já citado (este texto pode ser copiado e colado no editor do MPL):

.....

TITLE

Problema_Classico;

{isto é um comentário}

INDEX

produto:=(x1,x2);

maquina:=(a,b,c);

DATA

coef_lucro[produto]:=(1,1.5);

coef_tec[maquina,produto]:=(2,2,

1,2,

4,2);

```
recurso[maquina]:=(160,120,240);  
VARIABLES  
    producao[produto]->Prod;  
  
MACROS {MACROS NÃO SÃO NECESSARIAS, APENAS AJUDAM A DEIXAR MAIS  
COMPACTA A NOTAÇÃO}  
    lucro:=SUM(produto:coef_lucro*producao);  
MODEL  
    Max Z = lucro;  
SUBJECT TO  
    Capacidade_prod[maquina]:  
        SUM(produto:coef_tec*producao)<=recurso;  
BOUNDS  
    producao>=0;  
END
```

5. Previsão utilizando o Forecast PRO 3.5

Este item tem por objetivo descrever os principais detalhes de utilização do software FORECAST PRO 3.5.

Inicialmente, deve-se criar uma planilha em Excel (arquivo com extensão .xls) na qual a célula A1 contenha a palavra HORIZONTAL ou VERTICAL, que será utilizada para indicar que os dados das séries estão dispostos na planilha horizontalmente ou verticalmente. As demais células da linha 1 e da coluna A devem estar vazias. Os demais parâmetros são: NOME da série, COMENTÁRIO, ANO (MÊS, SEMANA, DIA,..) INICIAL das séries históricas, MÊS (SEMANA, DIA,...) INICIAL das séries históricas, NÚMERO DE AMOSTRAS QUE ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) CONTÉM, PERÍODO DO FENÔMENO SAZONAL, DADO1, DADO2, DADO3,....

Para o caso HORIZONTAL a planilha fica:

HORIZONTAL									
	NOME da série 1	COMENTÁRIO	ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) INICIAL	MÊS (SEMANA, DIA,...) INICIAL	NÚMERO DE AMOSTRAS QUE ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) CONTÉM	PERÍODO DO FENÔMENO SAZONAL	DADO1	DADO2	...
	NOME da série 2	COMENTÁRIO	ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) INICIAL	MÊS (SEMANA, DIA,...) INICIAL	NÚMERO DE AMOSTRAS QUE ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) CONTÉM	PERÍODO DO FENÔMENO SAZONAL	DADO1	DADO2	...

Para o caso VERTICAL a planilha fica:

VERTICAL			
	NOME da série 1	NOME da série 2	...
	COMENTÁRIO	COMENTÁRIO	...
	ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) INICIAL	ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) INICIAL	...
	MÊS (SEMANA, DIA,...) INICIAL	MÊS (SEMANA, DIA,...) INICIAL	...
	NÚMERO DE AMOSTRAS QUE ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) CONTÉM	NÚMERO DE AMOSTRAS QUE ANO (MÊS, SEMANA, DIA,...) CONTÉM	...
	PERÍODO DO FENÔMENO SAZONAL	PERÍODO DO FENÔMENO SAZONAL	...
	DADO1	DADO1	...
	DADO2	DADO2	...

A figura A1 mostra um exemplo de planilha Excel com as séries históricas dispostas horizontalmente.

HORIZONTAL										
	1_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	4_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	5_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	6_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	7_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	8_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	4	24	2	114
	9_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	6	2	4
	10_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	11_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	86	93	50	201
	12_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	13_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	6	0	0
	14_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	110	240	4
	16_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	32	76	52	17
	17_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	24
	18_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	1	15	82	364
	19_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	273	12	60	0
	20_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0
	21_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	4	146	184	298
	23_1	COMENTARIO	2000	1	12	12	0	0	0	0

Fig. A1 – Exemplo de planilha Excel com as séries históricas dispostas horizontalmente.

De posse do arquivo com a planilha Excel abre-se este no FORECAST PRO 3.5 através do menu FILE -> OPEN DATABASE. A figura A2 mostra a tela do FORECAST PRO 3.5 para essa situação.

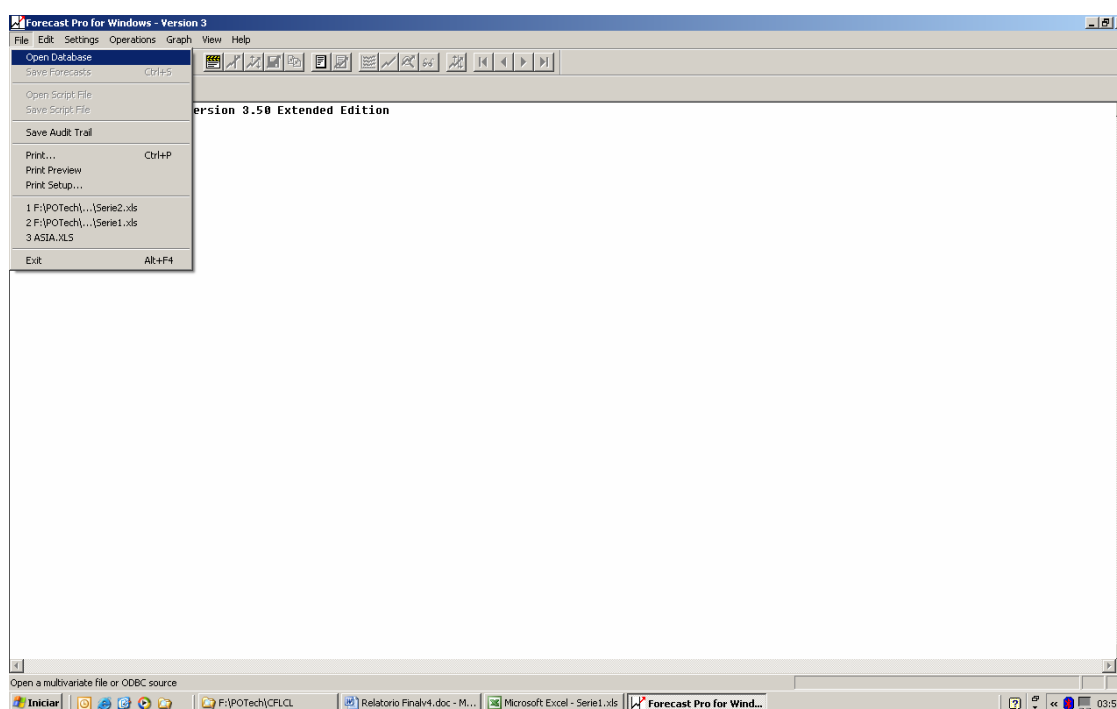



Fig. A2 – Tela do FORECAST PRO 3.5 mostrando menu FILE->OPEN DATABASE.

Uma vez aberta a planilha com as séries históricas, deve-se clicar com o mouse no ícone  (script) ou através do menu OPERATIONS->SCRIPT a fim de seleccionar quais as séries históricas contidas na planilha que serão utilizadas.

Para seleccionar as séries históricas, o FORECAST PRO 3.5 mostra a janela "Forecast Script", como mostra a figura A3. Nesta janela, pode-se seleccionar as séries uma a uma ou seleccionar todas clicando no botão "Select all".

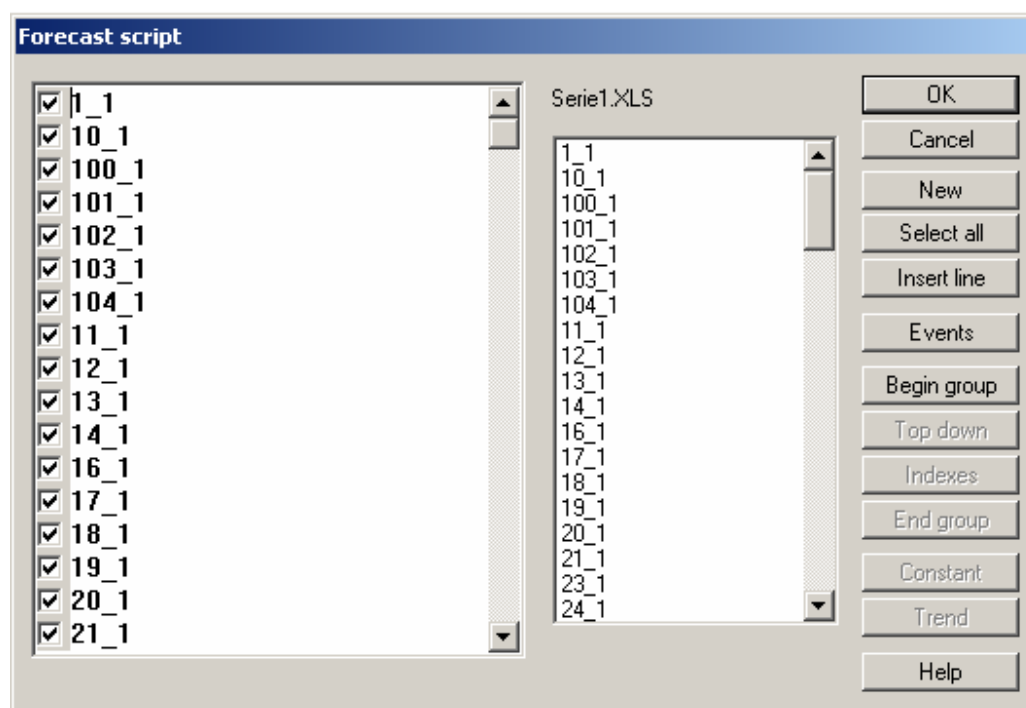


Fig. A3 – Janela Forecast Script.

Para realizar a previsão para mais de uma série (como no exemplo da figura A3 em que foram seleccionadas várias séries) deve-se utilizar o comando BATCH no combo box que contém os métodos de previsão. A figura A4 mostra este combo box em azul.

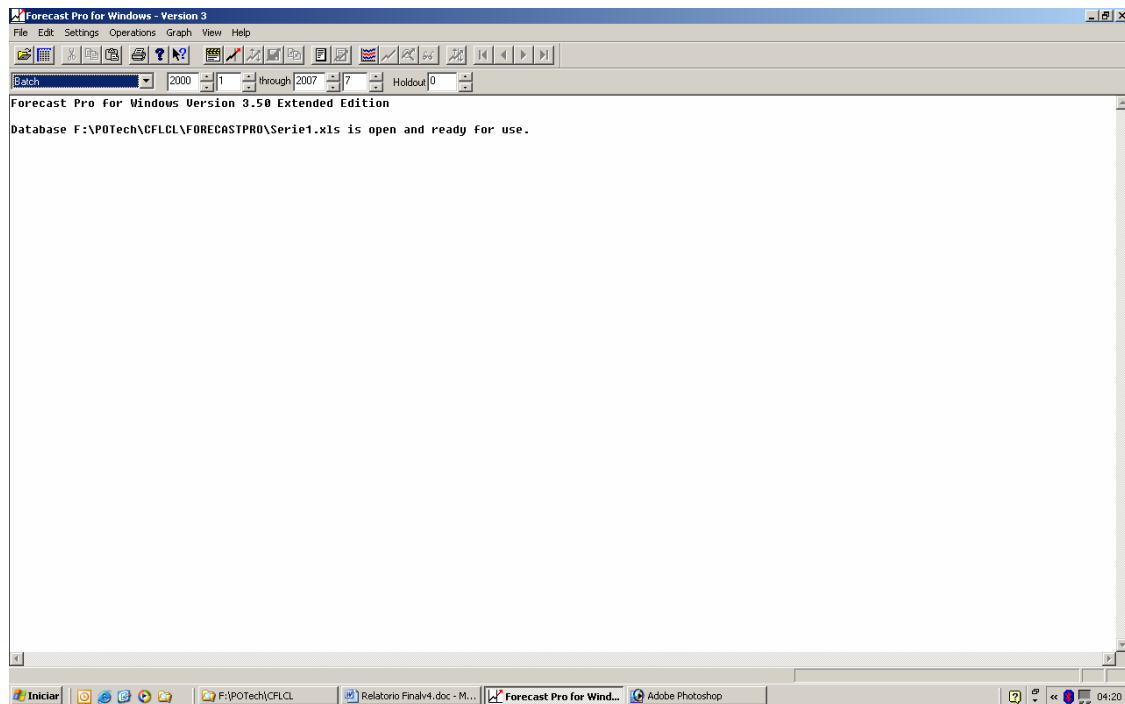



Fig. A4 – Combo box com o comando BATCH selecionado.

Após a seleção do comando BATCH deve-se clicar no ícone  ou no menu Operations->Forecast para realizar os cálculos de previsão para as séries selecionadas. Imediatamente após esta ação, o FORECAST PRO 3.5 apresenta a janela "Select default batch processing mode" para o usuário selecionar o método de previsão desejado. A figura A5 mostra esta janela.

A opção "Expert Selection" irá realizar os cálculos para todos os métodos apresentados nesta janela e automaticamente selecionar o melhor método para cada série segundo critérios próprios.

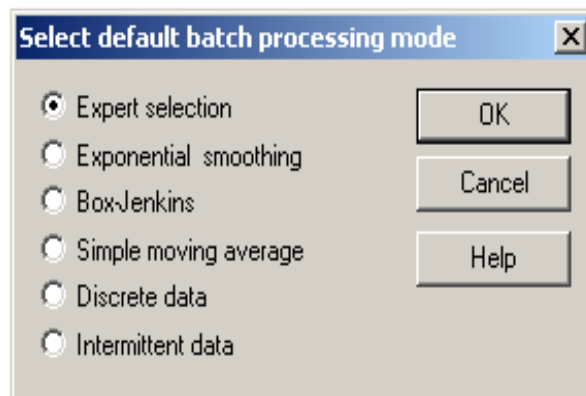


Fig. A5 – Janela para selecionar o método de previsão a ser utilizado.

O horizonte de previsão (quantas amostras após a última amostra de cada série) é determinado no menu Settings->Options na aba Basic->Forecast Horizon. Nesta mesma aba pode-se escolher o intervalo de confiança das previsões através dos valores "Upper confidence Limit" e "Lower confidence Limit".

No menu Settings->Forecast Output Design pode-se selecionar os resultados e informações, além da disposição destas no arquivo de saída dos resultados.

Para salvar o arquivo com os resultados, utiliza-se o menu FILE->SAVE FORECASTS. Por default, o FORECAST PRO 3.5 sugere o nome do arquivo de saída dos resultados como o mesmo nome do arquivo de entrada dos dados com "!" no começo do nome. O formato default do arquivo de saída é também uma planilha Excel (extensão .xls).

No menu Graph pode-se selecionar várias opções de gráficos das séries.

O menu Operations->Adjust Forecasts exhibe uma janela para alterar manualmente os resultados das previsões.