

# Quarto roteiro de exercícios no Scilab

## Cálculo Numérico

Rodrigo Fresneda

28 de abril de 2012

### Guia para respostas:

- Entregue suas respostas às tarefas contidas no roteiro de cada uma das quatro atividades, incluindo quaisquer algoritmos pedidos.
- Não copie do pdf e cole no Scilab para evitar erros de compilação: digite todos os comandos novamente.
- Data limite para entrega: 09/05/2012

### Parte I

## Interpolação polinomial

Nesta atividade iremos calcular o polinômio interpolador  $p$  de grau  $n - 1$  ou menor aos  $n$  pontos distintos  $(x_i, y_i)$ ,

$$p(x_i) = y_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Para tanto iremos nos valer de duas formas para  $p$  vistas em sala: aquela dada pela fórmula de Lagrange, e aquela dada pela fórmula de Newton.

### 1 Polinômios interpoladores de Lagrange

A fórmula de Lagrange para o polinômio interpolador de grau  $n - 1$  é dada por

$$p(x) = \sum_{i=1}^n y_i L_i(x)$$

em que  $y_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , são as coordenadas “dependentes” na tabela  $(x_i, y_i)$ , e os  $L_i(x)$  são os polinômios

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

A seguinte função do Scilab obtém a interpolação num ponto  $xin$  usando a fórmula de Lagrange para o polinômio interpolador:

---

**Algoritmo 1** Fórmula de Lagrange

---

```
function [yin] = ilagrange(x,y,xin)
//ilagrange ajusta um polinomio de Lagrange a um conjunto de pontos dado
//e usa o polinomio para determinar o valor interpolado de um ponto.
//Variaveis de entrada:
//x Vetor coluna com as coordenadas x dos pontos dados
//y Vetor coluna com as coordenadas y dos pontos dados
//xin A coordenada x do ponto a ser interpolado
//Variavel de saida:
//yin O valor interpolado de xin
//O comprimento do vetor x fornece o numero de termos do polinomio
n=length(x);
for i=1:n,
    //Calcula os termos Li do produto
    L(1,i)=1;
    for j=1:n,
        if j~=i,
            L(1,i)=L(1,i)*(xin-x(j))/(x(i)-x(j));
        end
    end
end
//Calcula o valor do polinomio da Eq. (16)
yin=*****;
endfunction
```

---

## 2 Polinômios interpoladores de Newton

A formula de Newton para o polinômio interpolador de grau  $n - 1$ , para os  $n$  pontos de interpolação  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , e

$$p(x) = \sum_{i=1}^n [y_1, \dots, y_i] (x - x_1) (x - x_1) \cdots (x - x_{i-1})$$

em que os coeficientes  $[y_1, \dots, y_{i+1}]$  são as diferenças divididas de ordem  $i$  dos  $y_i$  em relação aos  $x_i$ . As diferenças divididas de ordens 0, 1 e 2 são:

$$\begin{aligned} [y_1] &= y_1 \\ [y_1, y_2] &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ [y_1, y_2, y_3] &= \frac{1}{x_3 - x_1} \left( \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \\ &= \frac{[y_2, y_3] - [y_1, y_2]}{x_3 - x_1} \end{aligned}$$

Seguindo essa relação de recorrência, podemos escrever

$$[y_1, y_2, y_3, y_4] = \frac{[y_2, y_3, y_4] - [y_1, y_2, y_3]}{x_4 - x_1}$$

e de modo geral,

$$[y_1, \dots, y_k] = \frac{[y_2, \dots, y_k] - [y_1, \dots, y_{k-1}]}{x_k - x_1}$$

O seguinte programa pode ser utilizado para interpolar um ponto  $x_{in}$  usando polinômios de Newton.

---

**Algoritmo 2** Fórmula de Newton

---

```
function yin = inewton(x,y,xin)
//inewton ajusta um polinomio de Newton a um dado conjunto de pontos e
//usa esse polinomio para determinar o valor interpolado de um ponto.
//Variaveis de entrada:
//x Vetor com as coordenadas x dos pontos dados
//y Vetor com as coordenadas y dos pontos dados
//xin Coordenada x do ponto a ser interpolado
//Variavel de saida:
//yin O valor interpolado de xin.
n = length(x); //Comprimento do vetor x fornece o numero de coeficientes
// (e termos) do polinomio
a(1) = y(1); //Primeiro coeficiente a1
for i = 1:n-1, //Calcula as diferencas divididas de ordem 1
    //Elas sao armazenadas na 1a coluna de dif
    dif(i,1) = *****;
end
for j = 2:n-1, //Calcula as diferencas divididas de ordem 2 ate (n-1)
    //Elas sao armazenadas nas colunas de dif
    for i = 1:n-j,
        dif(i,j) = (dif(i+1,j-1)-dif(i,j-1))/(x(i+j)-x(i));
    end
end
for j = 2:n, //Atribui os coeficientes a2 a an ao vetor a
    a(j) = dif(1,j-1);
end
//Calcula o valor interpolado de xin
yin = a(1);
xn = 1;
for k = 2:n,
    xn = xn*(xin-x(k-1));
    yin = *****;
end
endfunction
```

---

**Atividade 1**

1. Complete as linhas com **\*\*\*** das funções `ilagrange` e `inewton`.
2. Sabe-se que um dispositivo não-linear, quando alimentado por uma tensão  $U$  (em volts) apresenta como saída a corrente  $I$  (em mA), dada por

$$I = 5U^3 - 8U^2 + 20U \quad (1)$$

Usando a equação acima, preencha seguinte tabela com os valores esperados para a corrente

|          |       |       |       |       |      |      |      |      |      |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| $U (V)$  | -7.00 | -5.00 | -3.00 | -1.00 | 1.00 | 3.00 | 5.00 | 7.00 | 9.00 |
| $I (mA)$ |       |       |       |       |      |      |      |      |      |

- Qual o valor de  $I$  para  $U = 0V$ ?
- Usando apenas os  $n = 2$  primeiros pontos da tabela, obtenha por extrapolação uma estimativa para a corrente quando  $U = 0V$  usando a função ilagrange. Qual o erro absoluto da estimativa?
- Repita o item 4 para  $n = 3, 4, 5, 6, 7, 9$ . Comente os resultados obtidos. Se você usasse o programa inewton, os resultados seriam diferentes? Justifique.
- O programa abaixo traça num mesmo gráfico a função dada na (1) para  $-10 \leq U \leq 10$  e o polinômio interpolador utilizando os  $n = 3$  primeiros pontos da tabela. Comente os resultados obtidos.

---

### Algoritmo 3

---

```

x = linspace(-10,10,100);
y = 5*x.^3-8*x.^2+20*x;
v = [-7 -5 -3];
i = 5*v.^3-8*v.^2+20*v;
for int = 1:length(x)
    xin = x(int);
    yin(int) = ilagrange(v,i,xin);
end
plot(x,y,x,yin,'r',v,i,'*');
xgrid;
xlabel('v');
ylabel('i');
legend('Valores exatos', 'Polinomio de Lagrange', 'Dados usados na interp.');
```

---

- Modifique o programa do item 6 de forma a usar os  $n = 4$  primeiros pontos da tabela. Comente os resultados obtidos.

## 3 Aproximação polinomial a um conjunto de $n + 1$ pontos pelo método dos mínimos quadrados

Dado um vetor  $x$  com  $n$  componentes distintas e um vetor  $y$  com  $n$  valores, queremos encontrar o polinômio  $p$  de grau  $m < n - 1$  que melhor se ajusta aos pontos  $(x_i, y_i)$  no sentido de minimizar a distância

$$\|y - p\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - p(x_i))^2} \quad (2)$$

---

**Algoritmo 4** Calcula o polinômio P nos pontos x.

---

```
P=poly(a, 'x', 'coeff')
horner(P, x)
```

---

Como vimos em sala, esse problema é equivalente a resolver o sistema linear

$$\begin{pmatrix} (e_0, e_0) & (e_1, e_0) & (e_2, e_0) & \cdots & (e_m, e_0) \\ (e_0, e_1) & (e_1, e_1) & (e_2, e_1) & \cdots & (e_m, e_1) \\ (e_0, e_2) & (e_1, e_2) & (e_2, e_2) & \cdots & (e_m, e_2) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ (e_0, e_m) & (e_1, e_m) & (e_2, e_m) & \cdots & (e_m, e_m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (y, e_0) \\ (y, e_1) \\ (y, e_2) \\ \vdots \\ (y, e_m) \end{pmatrix} \quad (3)$$

onde os vetores  $e_i$ ,  $i = 0, \dots, m$  dados abaixo são linearmente independentes,

$$e_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}, e_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, e_2 = \begin{pmatrix} x_1^2 \\ x_2^2 \\ x_3^2 \\ \vdots \\ x_n^2 \end{pmatrix}, \dots, e_m = \begin{pmatrix} x_1^m \\ x_2^m \\ x_3^m \\ \vdots \\ x_n^m \end{pmatrix},$$

e o produto escalar no  $\mathbb{R}^n$  é

$$(x, y) = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad x, y \in \mathbb{R}^n$$

## Atividade 2

1. Escreva uma rotina que recebe os vetores  $x$  e  $y$  de mesmo comprimento como dados de entrada e calcula a matriz de coeficientes e o vetor de constantes do sistema de equações normais para um dado grau  $m$  do polinômio de ajuste (3).
2. Utilize sua rotina, juntamente com a rotina de eliminação gaussiana da aula passada para obter o polinômio de grau 5 que melhor se ajusta aos dados contidos no arquivo dados.txt que se encontra na página do curso.
3. Finalmente, calcule o erro na sua aproximação de acordo com a expressão (2). Dica: utilize a função “poly” para criar um polinômio em “x” cujos coeficientes são as componentes do vetor “a”, e a função “horner” para calcular o polinômio nos pontos dados pelo vetor “x”:

Para ler uma tabela de dados com 2 colunas de números a partir de um arquivo, utilize os comandos:

---

**Algoritmo 5** Como ler dados a partir de um arquivo

---

```
dados=fopen('/caminho/para/arquivo/dados.txt','r'); // abre arquivo
if(dados==-1)
error('nao_e_posivel_ler_arquivo');
end
[num, x, y]=mfsanf(-1,dados,'%f%f'); // ler tabela com duas colunas
fclose(dados); // fecha arquivo
```

---

## Parte II

# Integração Numérica

## 4 integração por trapézios

A regra do trapézio para a integração numérica de funções é baseada na aproximação da integral a partir da interpolação de uma reta que passa pelos limites de integração  $a$  e  $b$ . Na figura abaixo podemos observar que a integral neste caso equivale à área de um trapézio com bases  $f(a)$  e  $f(b)$  e altura  $(b - a)$ .

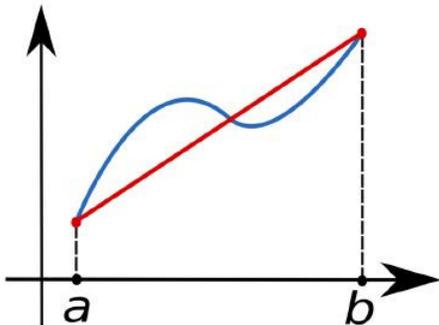


Figura 1: Integração por trapézio em 2 pontos

A área abaixo da curva é dada então por:

$$I \approx \frac{(b-a)}{2} [f(a) + f(b)]$$

Dividindo o intervalo  $[a, b]$  em  $n$  sub-intervalos podemos calcular a integral de  $f(x)$  pela soma do valor da integral em cada subintervalo.

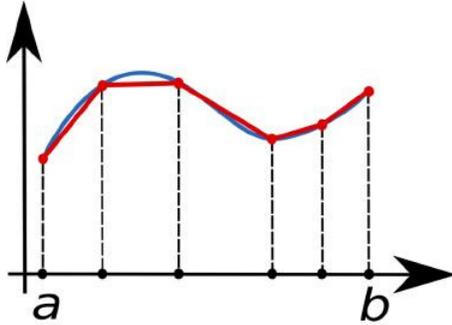


Figura 2: Integração por trapézios em  $n + 1$  pontos

$$I \approx \int_{x_1=a}^{x_2} f(x) dx + \int_{x_2}^{x_3} f(x) dx + \dots + \int_{x_n}^{x_{n+1}=b} f(x) dx = \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) dx$$

Aplicando a regra do trapézio a cada um dos subintervalos, temos:

$$I \approx \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_{i+1} - x_i}{2} \right) [f(x_{i+1}) + f(x_i)]$$

No caso dos intervalos serem igualmente espaçados temos que:

$$x_{i+1} - x_i = h$$

Finalmente:

$$I \approx \frac{h}{2} \sum_{i=0}^n [f(x_{i+1}) + f(x_i)]$$

A expressão acima pode ser facilmente implementada no Scilab para efetuar o cálculo da integral  $f(x)$ .

### Atividade 3

1. Escreva uma função no Scilab para calcular, por meio da fórmula dos trapézios, a integral dos dados tabulados abaixo. Os argumentos da função devem ser os vetores  $x$  e  $y$  dos dados.
2. Utilizar a função acima para calcular a área contida sobre os pontos da tabela abaixo (Resp. 0,32146).

|     |       |        |        |        |        |        |        |
|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $x$ | 1.00  | 1.05   | 1.10   | 1.15   | 1.20   | 1.25   | 1.30   |
| $y$ | 1.000 | 1.0247 | 1.0488 | 1.0723 | 1.0954 | 1.1180 | 1.1401 |

3. Reescreva a função que você criou para o cálculo do valor da integral de uma função. Os argumentos da função devem ser: a própria função a ser integrada, os limites de integração e

o número de subintervalos. Utilize a função recém criada para o cálculo das integrais abaixo:

$$\int_0^1 e^{-x^2} dx \quad \text{resp. } 0,746818$$

$$\int_0^1 e^{-x} \sin(x) dx \quad \text{resp. } 0,24584$$

Dica: seu algoritmo pode receber como parâmetro uma string como “exp(-x^2)” e calcular a integral da função representada por esse string. Para isso, dentro do seu algoritmo você pode criar uma outra rotina que recebe a string e um número, e calcula a função representada por essa string no ponto especificado:

---

**Algoritmo 6** Exemplo de implementação de função genérica

---

```
function [y]=F(z , string)
    .....x=z
    .....y=evstr(string)\calcula_a_string_(funcao_de_x)_no_ponto_z
endfunction
```

---

## 5 regra de Simpson 1/3

A fórmula de integração por trapézios se baseia na aproximação do integrando por um polinômio de primeira ordem, para então integrar o polinômio no intervalo desejado. A regra de Simpson 1/3 é uma extensão da regra dos trapézios em que o integrando é aproximado por um polinômio de grau 2 (ver figura abaixo). Assim:

$$I = \int_a^b f(x) dx \approx \int_a^b p(x) dx$$

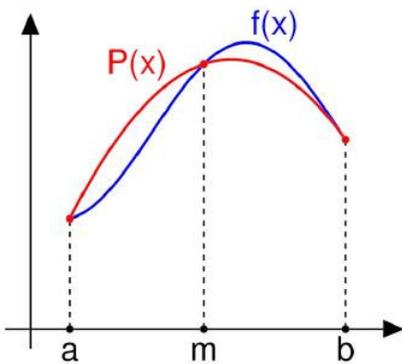


Figura 3: Simpson 1/3:  $p(x)$  é um polinômio de grau 2

Utilizando um polinômio interpolador de Lagrange, para os pontos de interpolação  $a$ ,  $b$  e o ponto médio  $m = (a + b)/2$  temos

$$p(x) = f(a) \frac{(x-m)(x-b)}{(a-m)(a-b)} + f(m) \frac{(x-a)(x-b)}{(m-a)(m-b)} + f(b) \frac{(x-a)(x-m)}{(b-a)(b-m)}$$

Após integrar, temos:

$$I \approx \int_a^b p(x) dx = \frac{b-a}{6} \left[ f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right]$$

Observe que como são necessários 3 pontos para a definição de um polinômio de grau 2, o intervalo de integração  $[a, b]$  é dividido em 2 intervalos adjacentes. Desta forma a equação acima pode ser escrita como:

$$I \approx \int_a^b p(x) dx = \frac{h}{3} \left[ f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right]$$

em que

$$h = \frac{b-a}{2}$$

De maneira análoga ao que foi feito para a regra dos trapézios, podemos dividir o intervalo  $[a, b]$  em  $n$  subintervalos e calcular a integral em cada um destes subintervalos.

$$I \approx \int_{x_1=a}^{x_3} f(x) dx + \int_{x_3}^{x_5} f(x) dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^{x_{n+1}=b} f(x) dx = \sum_{i=2,4,6,\dots}^n \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} f(x) dx$$

Aplicando a regra de Simpson temos:

$$I \approx \frac{h}{3} \left[ f(a) + 4 \sum_{i=2,4,6,\dots}^n f(x_i) + 2 \sum_{i=3,5,7,\dots}^{n-1} f(x_i) + f(b) \right]$$

Note que como o método de Simpson é aplicado em dois intervalos adjacentes de uma só vez, o intervalo de integração deve ser dividido em um número par de subintervalos para a utilização deste método.

#### Atividade 4

1. Escreva uma função no Scilab para calcular por meio do método "Simpson 1/3" a integral de dados tabulados. Os argumentos da função devem ser os vetores  $x$  e  $y$  dos dados.
2. Utilizar a função acima para calcular a integral nos pontos da tabela apresentada na atividade anterior.
3. Reescreva a função que você criou para o cálculo do valor do integral de uma função. Os argumentos da função devem ser: a própria função a ser integrada, os limites de integração e

o número de sub-intervalos. Utilize a função recém criada para o cálculo das integrais abaixo:

$$\int_0^1 e^{-x^2} dx \quad (4)$$

$$\int_0^1 e^{-x} \sin(x) dx \quad (5)$$