

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica
Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial
Ano Lectivo: 2002/2003

ANÁLISE NUMÉRICA

Exercícios

7.1. Considere a função

$$f(x) = |x|, \quad -1 \leq x \leq 1.$$

Por aplicação do Teorema de Chebyshev prove que a melhor aproximação uniforme de f em $\mathcal{P}_3[-1, 1]$ é dada por

$$p_3^*(x) = x^2 + \frac{1}{8}, \quad -1 \leq x \leq 1.$$

7.2. Determine, usando o Teorema de Chebyshev e observações geométricas, a melhor aproximação uniforme da função

$$f(x) = e^x, \quad x \in [0, 1],$$

a) no espaço $\mathcal{P}_0[0, 1]$;

b) no espaço $\mathcal{P}_1[0, 1]$.

7.3. Considere a função

$$f(x) = \frac{x^3 + x^2}{100}, \quad x \in [-1, 1].$$

Determine o polinómio $p_2 \in \mathcal{P}_2[-1, 1]$ tal que

$$\max_{x \in [-1, 1]} |f(x) - p_2(x)| \text{ é mínimo.}$$

Indique o valor do mínimo.

7.4. Considere a seguinte tabela:

x_i	1.0	1.2	1.5	1.6
f_i	5.44	6.64	8.96	9.91

a) Obtenha o polinómio do 1^o grau que se ajusta (no sentido dos mínimos quadrados) aos pontos tabelados.

b) Idem, mas para o polinómio do 2^o grau. Utilizando o polinómio obtido, determine uma estimativa do valor de $f(1.4)$.

c) Admitindo que $|f'(x) - g'(x)| \leq M, \forall x \in [1.2, 1.5]$, obtenha um majorante do erro absoluto do valor obtido na alínea anterior.

Sugestão: Use o Teorema de Lagrange.

d) Relativamente aos dois casos anteriores, calcule o valor das somas dos quadrados dos desvios correspondentes aos ajustamentos efectuados. Qual seria o valor dessa soma, no caso de se fazer o ajustamento por um polinómio do 3º grau?

7.5. Seja f uma função tal que

$$f(-2) = 3, \quad f(0) = 6, \quad f(2) = 15.$$

Obtenha a função do tipo

$$g(x) = ax + b,$$

que melhor se ajusta aos valores dados, no sentido dos mínimos quadrados. Mostre ainda que

$$\sum_{i=1}^3 (f(x_i) - \alpha x_i - \beta)^2 \geq 6,$$

quaisquer que sejam α, β constantes reais.

7.6. Considere os 6 pontos

$$(-1, 7), \quad (0, 6), \quad (1, 6), \quad (2, 4), \quad (4, 3), \quad (5, 1).$$

a) Determine a função

$$g(x) = a - x + bx^2,$$

cujo gráfico melhor se ajusta aos pontos segundo o método dos mínimos quadrados.

b) O mesmo que em a) usando

$$g(x) = ae^{bx} - \frac{x^2}{4},$$

e uma transformação de variáveis.

7.7. Considere a seguinte tabela de valores de uma função f :

x_i	-1	0	1	2
$f(x_i)$	6	3	2	1

Pretende-se um ajustamento dos pontos da tabela por uma função do tipo

$$g(x) = \frac{1}{Ax + B}.$$

Determine as constantes A, B pelo método dos mínimos quadrados.

Sugestão: Poderá ser conveniente efectuar uma mudança de variáveis.

7.8. Determine a função da forma

$$g(x) = Be^x + Ce^{-x},$$

que melhor se ajusta, no sentido dos mínimos quadrados, à seguinte tabela de valores:

x_i	0	0.5	1.0
f_i	5.0	5.2	6.5

7.9. Considere os pontos

$$(-5, -1), \quad (-3, 0), \quad (-1, -1), \quad (1, 2).$$

a) Determine a função da forma

$$g(x) = \frac{a}{x+1} + bx^2,$$

que melhor aproxima esses pontos no sentido dos mínimos quadrados.

b) Determine uma função da mesma forma que melhor aproxima o polinómio interpolador que passa pelos pontos referidos.

c) O mesmo que em a) para

$$g(x) = \frac{a + bx^2}{x + 1}.$$

7.10. Considere a aproximação por mínimos quadrados para os pontos

$$(-1, 1), \quad (0, 1), \quad (1, 2), \quad (2, 2),$$

por uma função

$$g = a_1\phi_1 + a_2\phi_2 + a_3\phi_3,$$

com

$$\phi_1(x) = 1, \quad \phi_2(x) = x, \quad \phi_3(x) = \sin(\pi x) + x^4 - 2x^3 - x^2 + 3x + 1.$$

Mostre que a matriz do sistema normal não é invertível e comente a escolha das funções ϕ_k .

7.11. Considere Q uma matriz simétrica definida positiva e o produto interno definido em \mathbb{R}^N por

$$\langle v, w \rangle_Q = v^\top Qw.$$

Supondo que queremos aproximar uma lista de pontos cujas ordenadas estão no vector $y \in \mathbb{R}^N$ por uma função

$$g = a_1\phi_1 + \cdots + a_m\phi_m,$$

onde ϕ_1, \dots, ϕ_m são funções linearmente independentes (para a lista de abcissas), mostre que o sistema a resolver pode escrever-se na forma

$$X^T Q X a = X^T Q y,$$

onde X é uma matriz $N \times m$ e $a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_m]^T$.

7.12. a) Determine qual a função

$$g(x) = a + cx^2,$$

que melhor aproxima $f(x) = \sin(\pi x)$ no intervalo $[0, 1]$ segundo o método dos mínimos quadrados.

b) Qual o erro no ponto $x = 1$, e qual o maior erro $|f(x) - g(x)|$ nesse intervalo.

7.13. Determine, usando os três primeiros polinómios ortogonais de Legendre, a melhor aproximação mínimos quadrados da função $f(x) = x^4$ no espaço $\mathcal{P}_2[-1, 1]$.

7.14. Demonstre a seguinte propriedade dos polinómios de Chebyshev $T_n(x)$, $n = 0, 1, \dots$:

$$\langle T_n, T_m \rangle = \int_{-1}^1 \frac{T_n(x)T_m(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ \pi, & n = m = 0 \\ \frac{\pi}{2}, & n = m > 0 \end{cases} .$$

7.15. Considere a função

$$f(x) = \arccos x, \quad x \in [-1, 1].$$

Determine o polinómio $q_2^* \in \mathcal{P}_2[-1, 1]$ que minimiza

$$\int_{-1}^1 \frac{[f(x) - q(x)]^2}{\sqrt{1-x^2}} dx, \quad q \in \mathcal{P}_2[-1, 1].$$

7.16. Pretende-se obter a função

$$g(x) = a + b(2x^2 - 1) + c(4x^3 - 3x),$$

que melhor aproxima $f(x) = x\sqrt{1-x^2}$, no intervalo $] - 1, 1[$, de forma a minimizar a distância dada por

$$d(f, g) = \left\{ \int_{-1}^1 \frac{[f(x) - g(x)]^2}{\sqrt{1-x^2}} dx \right\}^{1/2} .$$

a) Determine os valores a, b, c que melhor efectuem essa aproximação.

b) Indique qual o valor mínimo para $d(f, g)$.

7.17. Considere o espaço linear $C^1([a, b])$ e o operador definido por

$$L(f) = \left\{ \int_a^b [f'(x)]^2 dx \right\}^{1/2}, \quad f \in C^1([a, b]).$$

a) Sabendo que

$$L(f + g) \leq L(f) + L(g), \quad \forall f, g \in C^1([a, b]),$$

prove que L define um seminorma (que não é norma) em $C^1([a, b])$.

b) Recorrendo à teoria da melhor aproximação e usando L , mostre que existem constantes reais $\bar{\alpha}$ e $\bar{\beta}$ tais que

$$\int_a^b (\cos x + \bar{\alpha}x + \bar{\beta})^2 dx \leq \int_a^b (\cos x + \alpha x + \beta)^2 dx, \quad \forall \alpha, \beta \in \mathbb{R}.$$

7.18. a) Prove que

$$p_{n-1}^*(x) = x^n - 2^{1-n}T_n(x),$$

é a melhor aproximação uniforme da função

$$f(x) = x^n, \quad x \in [-1, 1],$$

em $\mathcal{P}_{n-1}[-1, 1]$.

b) Calcule $\|f - p_{n-1}^*\|_\infty$.

7.19. Seja $T_n(x)$, $x \in [-1, 1]$, o polinómio de Chebyshev de grau n . Prove que no conjunto $\bar{\pi}_n$ dos polinómios mónicos de grau n , definidos em $[-1, 1]$, o polinómio

$$\bar{T}_n = 2^{1-n}T_n,$$

é a melhor aproximação uniforme da função nula.

7.20. Usando o Exercício anterior, prove que a melhor aproximação uniforme da função nula, relativamente ao intervalo $[a, b]$, no conjunto $\bar{\pi}_n$ dos polinómios mónicos de grau n , é o polinómio p_n^* definido por

$$p_n^*(x) = 2 \left(\frac{b-a}{4} \right)^n T_n \left(\frac{2x}{b-a} - \frac{a+b}{b-a} \right).$$

7.21. Determine a melhor aproximação da função nula relativamente a $[-1, 3]$, da forma

$$\frac{x^3}{3} + bx^2 + cx + d.$$