

## Cálculo Diferencial e Integral II

Teste 1 (versão 2) - 9 de Abril de 2016 - 11h30

Duração: 90 minutos

Todos os cursos excepto LMAC, MEFT e MEBiom

### Apresente e justifique todos os cálculos

1. Considere a função dada por

$$g(x, y) = \begin{cases} \frac{x^2 y^2}{2x^2 + y^4} & (x, y) \neq (0, 0) \\ 0 & (x, y) = (0, 0) \end{cases}$$

(2 val.) (a) Mostre que  $g$  é contínua na origem.

**Resolução:** Se  $(x, y) \neq (0, 0)$  tem-se

$$|g(x, y) - g(0, 0)| = \left| \frac{x^2 y^2}{2x^2 + y^4} - 0 \right| \leq \frac{x^2 y^2}{2x^2} = \frac{y^2}{2} \rightarrow 0.$$

(2 val.) (b) Calcule  $\frac{\partial g}{\partial x}(0, 0)$  e  $\frac{\partial g}{\partial y}(0, 0)$  e mostre que  $g$  é diferenciável na origem.

**Resolução:** Como  $g(x, 0) = g(0, y) = 0$  para quaisquer  $x, y \in \mathbb{R}$  conclui-se que no ponto  $(0, 0)$  se tem  $\frac{\partial g}{\partial x} = \frac{\partial g}{\partial y} = 0$ , e portanto a matriz Jacobiana nesse ponto é  $Dg(0, 0) = [0 \ 0]$ . Portanto  $g$  é diferenciável na origem porque

$$\lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{g(h, k) - g(0, 0) - Dg(0, 0) \begin{bmatrix} h \\ k \end{bmatrix}}{\|(h, k)\|} = \lim_{(h,k) \rightarrow (0,0)} \frac{h^2 k^2}{(2h^2 + k^4)\|(h, k)\|} = 0,$$

uma vez que

$$\left| \frac{h^2 k^2}{(2h^2 + k^4)\|(h, k)\|} \right| \leq \frac{h^2 \|(h, k)\|^2}{2h^2 \|(h, k)\|} = \frac{\|(h, k)\|}{2} \rightarrow 0.$$

(1 val.) (c) Calcule  $\frac{\partial g}{\partial x}$  nos restantes pontos de  $\mathbb{R}^2$  e diga, justificando, se  $g$  é de classe  $C^1$ .

**Resolução:** Tem-se, se  $(x, y) \neq (0, 0)$ ,

$$\frac{\partial g}{\partial x}(x, y) = \frac{2xy^2}{2x^2 + y^4} - \frac{4x^3 y^2}{(2x^2 + y^4)^2}.$$

Se  $y \neq 0$  obtém-se  $\frac{\partial g}{\partial x}(y^2, y) = \frac{2}{9}$  e portanto  $g$  não é de classe  $C^1$  porque  $\frac{\partial g}{\partial x}$  não é contínua na origem devido a ter-se  $\frac{\partial g}{\partial x}(0, 0) = 0$ .

- (2 val.) 2. Seja  $g : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$  diferenciável no ponto  $(0, 1)$  com matriz Jacobiana nesse ponto

$$Dg(0, 1) = \begin{bmatrix} 0 & 3 \\ 2 & 5 \end{bmatrix}.$$

Sendo  $h : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$  definida por  $h(x, y) = g(x^2 + y^2, e^{x+2y})$ , calcule  $\frac{\partial h_1}{\partial y}(0, 0)$ .

**Resolução:** Pela regra da cadeia tem-se

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_1}{\partial y}(0, 0) &= \frac{\partial g_1}{\partial x}(x^2 + y^2, e^{x+2y}) \frac{\partial}{\partial y}(x^2 + y^2) \Big|_{(x,y)=(0,0)} \\ &\quad + \frac{\partial g_1}{\partial y}(x^2 + y^2, e^{x+2y}) \frac{\partial}{\partial y}(e^{x+2y}) \Big|_{(x,y)=(0,0)} \\ &= 2 \frac{\partial g_1}{\partial y}(0, 1) = 6. \end{aligned}$$

- (3 val.) 3. Determine e classifique os pontos críticos da função definida por  $g(x, y) = x^2 + (\cos y)^2$ .

**Resolução:** Temos  $Dg(x, y) = [2x \quad -2 \cos y \sin y] = [2x \quad -\sin(2y)]$ . Então

$$Dg(x, y) = [0 \quad 0] \iff \begin{cases} x = 0 \\ \sin(2y) = 0 \end{cases}$$

e os pontos críticos são todos da forma  $(x, y) = (0, k\pi/2)$  com  $k \in \mathbb{Z}$ . A matriz Hessiana é, para cada  $k \in \mathbb{Z}$ ,

$$\begin{aligned} D^2g(x, y) &= \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & -2 \cos(2y) \end{bmatrix} \\ D^2g(0, k\pi) &= \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & -2 \end{bmatrix} \quad (\text{indefinida}) \\ D^2g(0, \pi/2 + k\pi) &= \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (\text{definida positiva}), \end{aligned}$$

pelo que, para cada  $k \in \mathbb{Z}$ , o ponto  $(0, k\pi)$  é de sela e o ponto  $(0, \pi/2 + k\pi)$  é de mínimo.

4. Considere o conjunto definido por

$$V = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : 0 < y < 1 ; 2x^2 < z < 1 + x\}.$$

- (3 val.) a) Escreva uma expressão para o volume de  $V$  em termos de integrais iterados da forma  $\int(\int(\int dz)dx)dy$  e da forma  $\int(\int(\int dy)dx)dz$ .

**Resolução:**

$$\text{vol}(V) = \int_0^1 \left( \int_{-\frac{1}{2}}^1 \left( \int_{2x^2}^{1+x} 1 dz \right) dx \right) dy$$

$$\text{vol}(V) = \int_0^{\frac{1}{2}} \left( \int_{-\sqrt{\frac{z}{2}}}^{\sqrt{\frac{z}{2}}} \left( \int_0^1 1 dy \right) dx \right) dz + \int_{\frac{1}{2}}^2 \left( \int_{z-1}^{\sqrt{\frac{z}{2}}} \left( \int_0^1 1 dy \right) dx \right) dz$$

(2 val.)

b) Sabendo que a função densidade de massa é dada por  $g(x, y, z) = 4y$ , calcule a massa de  $V$ .

**Resolução:**

$$\text{massa}(V) = \int_0^1 \left( \int_{-\frac{1}{2}}^1 \left( \int_{2x^2}^{1+x} 4y dz \right) dx \right) dy = \frac{27}{12}$$

(2 val.)

5. Usando uma mudança de coordenadas apropriada calcule o volume do sólido

$$A = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 : y^2 + z^2 < x < 2 - \sqrt{y^2 + z^2}\}.$$

**Resolução:** Em coordenadas cilíndricas  $(x, \rho, \theta)$  tem-se:

$$\begin{cases} x = x \\ y = \rho \cos \theta \\ z = \rho \sin \theta \end{cases}$$

e o volume é dado por

$$\text{vol}(A) = \int_0^{2\pi} \left( \int_0^1 \left( \int_{\rho^2}^{2-\rho} \rho dx \right) d\rho \right) d\theta = \frac{5\pi}{6}.$$

(3 val.)

6. Seja  $u : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$  uma função de classe  $C^2$  tal que

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} > 0$$

em todos os pontos de  $\mathbb{R}^2$ . Supondo que  $u = 0$  na fronteira do disco unitário  $D = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + y^2 \leq 1\}$ , mostre que  $u \leq 0$  em  $D$ .

**Resolução:** Como  $u$  é uma função contínua e  $D$  é um conjunto compacto sabemos, pelo Teorema de Weierstrass, que a função  $u$  tem máximo e mínimo absolutos em  $D$ . Os extremos no interior do disco correspondem a pontos de estacionaridade de  $u$ , que são classificados usando a matriz Hessiana:

$$D^2u(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial x} \\ \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \end{bmatrix}.$$

O traço da matriz Hessiana é a soma dos valores próprios e neste caso sabemos, por hipótese que é positivo, portanto pelo menos um dos valores próprios é positivo. Logo não podemos ter um ponto de máximo no interior de  $D$ . Onde podemos concluir que o máximo pertence então à fronteira de  $D$ . Como  $u = 0$  na fronteira de  $D$  este é o valor máximo de  $u$ , ou seja,  $u \leq 0$ .