

# MAT3110 - Cálculo Diferencial e Integral I

## Lista 1 – 25/02/2019

### Parte 1 - Operações

1. Diga se são verdadeiras ou falsas as seguintes afirmações:

(a)  $1 = 2 \implies 2 = 3$

(b) Se  $a, b \in \mathbb{Z}_5$  então  $(a^2 + b^2 = 0 \implies a = 0 \text{ e } b = 0)$

(c)  $ax = a \implies x = 1$

Obs:  $\mathbb{Z}_5$  é o nome matemático para o relógio de cinco horas.

2. Se  $a, b \in \mathbb{R}$ ,  $a \neq 0$  e  $b \neq 0$  prove que  $(a/b)^{-1} = b/a$ .

3. Prove que

$$1 + r + r^2 + \dots + r^n = \frac{1 - r^{n+1}}{1 - r}$$

para  $r \neq 1$ .

4. No exercício 3, faça  $r = a/b$  e conclua que

$$\frac{b^{n+1} - a^{n+1}}{b - a} = b^n + b^{n-1}a + b^{n-2}a^2 + \dots + a^n$$

5. Se  $n + 1$  é ímpar mostre que

$$b^{n+1} + a^{n+1} = (b + a)(b^n - b^{n-1}a + b^{n-2}a^2 + \dots - a^n)$$

### Parte 2 - Ordem

1.  $a < b$  e  $c < d \implies a + c < b + d$

2.  $a < b \implies -b < -a$

3.  $a > 0$  e  $b > 0 \implies ab > 0$

4.  $a > 1 \implies a^2 > a$

5.  $0 < a < 1 \implies a^2 < a$
6.  $b > a > 0 \implies b^2 > a^2$
7. Se  $a, b, c, d > 0$ ,  $a < b$  e  $c < d$  então  $ac < bd$
8.  $a < b \implies a^3 < b^3$
9. Se  $a, b > 0$  mostre que  $\sqrt{ab} \leq \frac{a+b}{2}$
10. Se  $ab \neq 0$  mostre que  $b^2 + ab + a^2 > 0$
11.  $(a+b)^2 = a^2 + b^2 \implies a = 0$  ou  $b = 0$
12.  $(a+b)^3 = a^3 + b^3 \implies a = 0$  ou  $b = 0$  ou  $a = -b$
13. Se  $a, b > 0$  e  $a^2 < b^2$  então  $a < b$
14. Considere a equação do segundo grau  $ax^2 + bx + c = 0$  onde  $a > 0$ . Ela é equivalente a

$$x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0$$

Complete o quadrado somando  $(b/2a)^2$  dos dois lados e mostre que

$$\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a^2}$$

Conclua disto que se  $\Delta = b^2 - 4ac \geq 0$  então

$$x = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \quad \text{ou} \quad x = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$$

15. Se  $a_1, a_2, b_1, b_2$  são números reais, encontre os coeficientes do trinômio de segundo grau

$$ax^2 + bx + c = (a_1 + b_1x)^2 + (a_2 + b_2x)^2$$

Use o fato que  $ax^2 + bx + c \geq 0$  para mostrar que

$$(a_1b_1 + a_2b_2)^2 \leq (a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2)$$

16. Verifique se o conjunto

$$K = \{a + b\sqrt{2} : a, b \in \mathbb{Q}\}$$

com as operações de adição e produto e a relação de ordem induzidas de  $\mathbb{R}$  verifica todos os axiomas dos números reais.

17. Verifique se o conjunto

$$K = \{a + b\pi : a, b \in \mathbb{Q}\}$$

com as operações de adição e produto e a relação de ordem induzidas de  $\mathbb{R}$  verifica todos os axiomas dos números reais.

### Parte 3 - Completude

1. Verifique quais das sequências abaixo são crescentes e limitadas superiormente ou decrescentes e limitadas inferiormente. Nestes casos determine seu limite:

(a)  $s_n = (1 + n)/n$

(b)  $s_n = (n - 1)/n$

(c)  $s_n = (1 + n)/n^2$

(d)  $s_n = \frac{2a}{n} + \frac{1}{n^2}$

(e)  $s_n = (-1)^n/(n + 1)$

(f)  $s_n = n^2/(n + 1)$

(g)  $s_n = \frac{1}{2} + \frac{0}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{0}{2^4} + \dots + \frac{?}{2^n}$

(h)  $s_n = n/(n^2 + 1)$

(i)  $\sqrt{2}, \sqrt{2 + \sqrt{2}}, \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}, \dots$  ou indutivamente

$$s_0 = \sqrt{2} \quad \text{e} \quad s_{n+1} = \sqrt{2 + s_n}$$

(j)  $\sqrt{2}, \sqrt{2\sqrt{2}}, \sqrt{2\sqrt{2\sqrt{2}}}, \dots$  ou indutivamente

$$s_0 = \sqrt{2} \quad \text{e} \quad s_{n+1} = \sqrt{2s_n}$$

2. Se  $a > 0$  mostre que a sequência

$$x_0 = a \text{ e } x_{n+1} = \frac{(x_n + \frac{a}{x_n})}{2}$$

é decrescente e limitada inferiormente. Determine seu limite.

3. Mostre que a sequência

$$s_n = 1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots + \frac{1}{n!}$$

é crescente e use o fato que  $1/n! < 1/2^{n-1}$  para mostrar que  $s_n < 3$ . Do axioma da completude conclua que existe o número

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} s_n$$

4. Seja  $p_n$  o perímetro do polígono regular com  $2^n$  lados inscrito na circunferência de raio unitário. Se  $l_n$  é seu lado então,  $p_n = 2^n l_n$ . Mostre que  $(p_n)$  é uma sequência crescente a partir de  $p_2 = 4\sqrt{2}$  e limitada superiormente. Do axioma da completude conclua que existe o número  $\pi$  tal que

$$2\pi = \lim_{n \rightarrow \infty} p_n$$

5. Para os conjuntos  $A$  abaixo determine, quando houver,  $\max A$ ,  $\min A$ ,  $\sup A$ ,  $\inf A$ :

(a)  $A = [a, b]$  onde  $a < b$

(b)  $A = \{n \in \mathbb{N} \mid 0 < n \leq 1011, 13\}$

(c)  $A = ]a, b[$  onde  $a < b$

(d)  $A = \left\{ \frac{p}{q} \mid , 0 < p < q , \text{mdc}(p, q) = 1 \text{ e } q < 1011, 13 \right\}$

(e)  $A = \left\{ \frac{p}{q} \mid , 0 < p < q , \text{mdc}(p, q) = 1 \text{ e } q < n \right\}$

(f)  $A = \{x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 1 \text{ e } x \in \mathbb{R} - \mathbb{Q}\}$

(g)  $A = \left\{ e^{\frac{1}{n}} \mid n \in \mathbb{N} \text{ e } n \neq 0 \right\}$

(h)  $A = \left\{ \cos \frac{1}{n^2} \mid n \in \mathbb{N} \text{ e } n \neq 0 \right\}$

(i)  $A = \left\{ f\left(\frac{1}{n}\right) \mid n \in \mathbb{N} \text{ e } n \neq 0 \right\}$  onde  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  é uma função crescente

(j)  $A = \{f(n) \mid n \in \mathbb{N}\}$  onde  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  é uma função crescente

## Parte 4 - Números Naturais

1. Prove por indução:

$$(a) \quad 1 + 3 + 5 + \dots + (2n + 1) = n^2$$

$$(b) \quad 1 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + \dots + n^3 = (1 + 2 + 3 + \dots + n)^2$$

2. Se  $m, n$  são naturais com  $n \geq m$ , então existe  $d$  natural tal que  $n = m + d$  (isto é,  $d = n - m$  é a diferença entre  $n$  e  $m$ ).

3. Considere o conjunto

$$A = \{n \in \mathbb{N} \mid 1 + 3 + 5 + \dots + (2n + 1) = (n + 2)n\}$$

Mostre que  $n \in A \implies (n + 1) \in A$ . É verdade que  $A = \mathbb{N}$ ?

4. Considere o conjunto

$$A = \left\{ n \in \mathbb{N} \mid 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{(2n + 1)^2}{8} \right\}$$

Mostre que  $n \in A \implies (n + 1) \in A$ . Podemos concluir que  $A = \mathbb{N}$ ?

5. O “coeficiente binomial” é o número

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n - k)! k!} \quad n, k \in \mathbb{N} \quad \text{e} \quad k \leq n$$

Este é também o número de combinações de  $n$  elementos  $k$  a  $k$ .

(a) Mostre que:

$$\text{i.} \quad \binom{n}{k} = \binom{n}{n - k}$$

$$\text{ii.} \quad \binom{n + 1}{k} = \binom{n}{k} + \binom{n}{k - 1}$$

(b) Prove por indução o teorema binomial

$$(a + b)^n = \binom{n}{0} a^n + \binom{n}{1} a^{n-1} b + \binom{n}{2} a^{n-2} b^2 + \dots + \binom{n}{n} b^n$$

(c) Mostre que:

i.  $2^n = \binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \binom{n}{2} + \dots + \binom{n}{n}$

ii.  $0 = \binom{n}{0} - \binom{n}{1} + \binom{n}{2} - \dots + (-1)^n \binom{n}{n}$

(d) Utilize a fórmula do binômio de Newton para mostrar que

$$(1 + 1/n)^n = 1 + 1 + \frac{1}{2!}(1 - 1/n) + \frac{1}{3!}(1 - 1/n)(1 - 2/n) + \dots + \frac{1}{n!}(1 - 1/n)(1 - 2/n) \dots (1 - (n - 1)/n)$$

e conclua que

$$(1 + 1/n)^n < 1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots + \frac{1}{n!}$$

6. Do teorema binomial temos

$$\begin{aligned} (1 + 1)^3 &= 1^3 + 3 \cdot 1^2 + 3 \cdot 1 + 1 \\ (2 + 1)^3 &= 2^3 + 3 \cdot 2^2 + 3 \cdot 2 + 1 \\ (3 + 1)^3 &= 3^3 + 3 \cdot 3^2 + 3 \cdot 3 + 1 \\ \vdots &= \vdots + \vdots + \vdots + \vdots \\ (n + 1)^3 &= n^3 + 3 \cdot n^2 + 3 \cdot n + 1 \end{aligned}$$

Somando membro a membro os dois lados das igualdades, encontre uma fórmula para

$$S = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2$$

7. Encontre fórmulas para

(a)  $\frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{2 \cdot 3} + \frac{1}{3 \cdot 4} + \dots + \frac{1}{(n - 1) \cdot n}$

$$(b) \frac{3}{1 \cdot 2^2} + \frac{5}{2^2 \cdot 3^2} + \frac{7}{3^2 \cdot 4^2} + \dots + \frac{2n+1}{n^2 \cdot (n+1)^2}$$

8. Sabendo-se que  $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$ , determine uma fórmula para

$$S = 1^2 - 2^2 + 3^2 - 4^2 + \dots + (2n - 1)^2 - (2n)^2$$