

Lista 6

Bases Matemáticas

Funções I

1 — Dados A e B conjuntos, defina rigorosamente o conceito de função de A em B .

2 — Dados os conjuntos $A = \{a, e, i, o, u\}$ e $B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, diga qual das relações abaixo definem uma função $f: A \rightarrow B$.

- $R = \{(e, 1), (o, 2)\}$
- $R = \{(a, 1), (e, 1), (i, 1), (o, 2), (u, 2)\}$
- $R = \{(a, 1), (e, 2), (i, 3), (o, 4), (u, 5)\}$
- $R = \{(a, 1), (e, 1), (e, 2), (i, 1), (u, 2), (u, 5)\}$
- $R = \{(a, 3), (e, 3), (i, 3), (o, 3), (u, 3)\}$
- $R = \{(a, 1), (e, 3), (i, 3), (o, 2), (u, 2)\}$
- $R = \{(a, 2), (e, 1), (i, 4), (o, 5), (u, 3)\}$

3 — Para cada função que aparece no exercício acima, diga se é injetora, sobrejetora e/ou bijetora.

4 — Calcule o domínio máximo D das seguintes funções (veja observação, ao final da lista, sobre a notação usada neste exercício):

- $f: D \subset \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}, f(n) = \frac{1}{n(n+4)(3n+1)}$
- $f: D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{x(x+4)(3x+1)}$
- $f: D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{\sqrt{x^2-1}}$
- $f: D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{\sqrt{x(x^2-4)}}$
- $f: D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \sqrt{\sqrt{1+x} - x}$
- $f: D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \sqrt{|1+x| - |x^2|}$
- $f: D \subset \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}, f(n) = \sqrt{|1+n| - |n^2|}$
- $f: D \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \sqrt[3]{1 + \sqrt{|x|} - 3}$

5 — Defina função injetora, sobrejetora e bijetora e a partir dessa definição, para cada uma das

seguintes funções, prove ou dê contra-exemplos que elas são injetoras, sobrejetoras ou bijetoras.

a) Se $A = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ e $f: A \rightarrow A$ dada por:

$$f(x) = \begin{cases} x, & \text{se } x \text{ é ímpar} \\ \frac{x}{2}, & \text{se } x \text{ é par} \end{cases}$$

b) Se $A = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ e $g: A \rightarrow A$ dada por:

$$f(x) = \begin{cases} x + 1, & \text{se } x \neq 7 \\ f(7) = 1 & \text{se } x = 7. \end{cases}$$

- $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}, f(n) = 3n + 1.$
- $f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}, f(n) = n - |n|.$
- $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = ax + b$ com $a \neq 0.$
- $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = 2x^2.$
- $f: (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{x}.$
- $f: \mathbb{R}^* \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{x^2}.$
- $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \sqrt{x}.$
- $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \times \mathbb{R}, f(x) = (x, x).$
- $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \times \mathbb{R}, f(x) = (x, |x|).$
- $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x, y) = x - |y|.$
- $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \times \mathbb{R}, f(x, y) = (x, y^3).$

6 — Determine o conjunto imagem da função $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z}$ dada por

$$f(n) = (-1)^n n.$$

7 — Considerando a função f do exercício anterior, determine o conjunto imagem da função $g: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z}$ dada por $g(n) = f(n) + f(n+1).$

8 — Para cada uma das seguintes funções, calcule $f^{-1}(\{0\}), f^{-1}(\{1\}), f^{-1}(\{2\})$

- a) $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}, f(n) = 3n + 1$.
 b) $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = x - |(x + 2)^2 - 1|$.
 c) $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = \sqrt{x + 1} - \sqrt{x}$.
 d) $f: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x, y) = x - |y|$.

9 — Seja dada uma função $f: A \rightarrow B$. Se X e Y são subconjuntos do domínio A e se V e W são subconjuntos do contradomínio B , mostre que:

- a) $f(X \cup Y) = f(X) \cup f(Y)$.
 b) $f(X \cap Y) \subset f(X) \cap f(Y)$.
 c) $f^{-1}(V \cup W) = f^{-1}(V) \cup f^{-1}(W)$.
 d) $f^{-1}(V \cap W) = f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W)$.
 e) Se $X \subset Y$ então $f(X) \subset f(Y)$.
 f) Se f é injetora então $f(X \cap Y) = f(X) \cap f(Y)$.
 g) Se $V \subset W$ então $f^{-1}(V) \subset f^{-1}(W)$.
 h) $X \subset f^{-1}(f(X))$.
 i) Se f é injetora então $X = f^{-1}(f(X))$.

10 — Seja A um conjunto (não vazio) com n elementos e seja B um conjunto qualquer. Mostre cada uma das seguintes afirmações:

- a) Se existe uma função injetora $f: A \rightarrow B$, então B possui *peelo menos* n elementos.
 b) Se existe uma função sobrejetora $f: A \rightarrow B$, então B possui *no máximo* n elementos.

Conclua, das afirmações acima, a seguinte propriedade: dois conjuntos finitos possuem o mesmo número de elementos se, e somente se, existe uma função bijetora entre tais conjuntos.

Soluções da Lista 4

1. Ver Notas de Aula
 2. (a) não;(b) sim;(c) sim;(d) não;(e) sim;(f) sim;(g) sim
 3. (b) nada;(c) bijetora;(e) nada;(f) nada;(g) bijetora

4. (a) $D = \mathbb{N}^*$;
 (b) $D = \mathbb{R} \setminus \{-4, -1/3, 0\}$;
 (c) $D = (-\infty, -1) \cup (1, +\infty)$;
 (d) $(-2, 0) \cup (2, +\infty)$;
 (e) $D = \left[\frac{1-\sqrt{5}}{2}, \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right]$;
 (f) $D = \left[\frac{1-\sqrt{5}}{2}, \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right]$;
 (g) $D = \{0, 1\}$;
 (h) $D = (-\infty, -3] \cup [3, +\infty)$

5. (Para as definições, ver Notas de Aula)
 (a) nada; (b) bijetora; (c) injetora; (d) nada; (e) bijetora; (f) nada; (g) injetora; (h) nada; (i) injetora; (j) injetora; (k) injetora; (l) sobrejetora; (m) bijetora

6. $\text{Im } f = \{2n \mid n \in \mathbb{N}\} \cup \{-(2n + 1) \mid n \in \mathbb{N}\}$

7. $\text{Im } f = \{-1, 1\}$

8. (a) $f^{-1}(\{0\}) = \emptyset; f^{-1}(\{1\}) = \{0\}; f^{-1}(\{2\}) = \emptyset$;
 (b) $f^{-1}(\{0\}) = \emptyset; f^{-1}(\{1\}) = \emptyset; f^{-1}(\{2\}) = \emptyset$;
 (c) $f^{-1}(\{0\}) = \emptyset; f^{-1}(\{1\}) = \{0\}; f^{-1}(\{2\}) = \emptyset$;
 (d) $f^{-1}(\{0\}) = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x \geq 0 \text{ e } y = \pm x\}$;
 $f^{-1}(\{1\}) = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x \geq 1 \text{ e } y = \pm(x - 1)\}$;
 $f^{-1}(\{2\}) = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid x \geq 2 \text{ e } y = \pm(x - 2)\}$

9. Demonstração de alguns itens:

- (a) Se $X \cup Y = \emptyset$, a afirmação é trivial. Caso contrário, seja $a \in f(X \cup Y)$. Então existe $b \in X \cup Y$ tal que $f(b) = a$. Como $b \in X$ ou $b \in Y$, então $a \in f(X)$ ou $a \in f(Y)$. Assim $f(X \cup Y) \subset f(X) \cup f(Y)$. Por outro lado, se $a \in f(X) \cup f(Y)$, então existe $b \in X$ ou $b \in Y$ tal que $f(b) = a$. Em qualquer um dos casos, existe $b \in X \cup Y$ tal que $f(b) = a$. Logo, $f(X \cup Y) = f(X) \cup f(Y)$.

- (d) Se $V \cap W = \emptyset$, então a inclusão $f^{-1}(V \cap W) \subset f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W)$ é trivial. Senão, seja $x \in f^{-1}(V \cap W)$. Como $f(x) \in V \cap W$, então $f(x) \in V$ e $f(x) \in W$, e assim resulta $x \in f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W)$. Logo, vale $f^{-1}(V \cap W) \subset f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W)$.

$W) \subset f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W)$. Vice-versa, se $f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W) = \emptyset$, a inclusão $f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W) \subset f^{-1}(V \cap W)$ é trivial. Senão, seja $x \in f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W)$. Então $f(x) \in V$ e $f(x) \in W$, ou seja, $f(x) \in V \cap W$. Logo, $x \in f^{-1}(V \cap W)$, o que prova a inclusão $f^{-1}(V) \cap f^{-1}(W) \subset f^{-1}(V \cap W)$.

- (f) A inclusão $f(X \cap Y) \subset f(X) \cap f(Y)$ é objeto do item (b). Mostremos somente a inclusão $f(X) \cap f(Y) \subset f(X \cap Y)$. Se $f(X) \cap f(Y) = \emptyset$, a inclusão é trivial. Senão, seja dado $a \in f(X) \cap f(Y)$. Então existem $b \in X$ e $c \in Y$ tais que $f(b) = a$ e $f(c) = a$. Como a função f é injetora (hipótese do exercício), deve resultar $b = c$. Assim, $b \in X \cap Y$ e portanto $a \in f(X \cap Y)$.

10. Vamos provar as afirmações por indução sobre o número n de elementos do conjunto A . Denotaremos o número de elementos de um conjunto X por $|X|$.

- (a) $P(n)$: se um conjunto A tem n elementos e se existe uma função injetora $f : A \rightarrow B$, então o conjunto B possui ao menos n elementos. Usaremos a *primeira versão* do PIF. Se $n = 1$, então o conjunto B deve possuir ao menos a imagem de tal elemento. Logo $|B| \geq 1$ e $P(1)$ é verdadeira. Agora, assumamos que, para um certo natural $k \geq 1$, vale a propriedade $P(k)$, isto é: se $|A| = k$ e se existe uma função injetora $f : A \rightarrow B$, então $|B| \geq k$. Provemos que vale $P(k + 1)$. Para isso, seja dado um conjunto de $k + 1$ elementos $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{k+1}\}$ e seja $f : A \rightarrow B$ uma função injetora. Con-

sidere os conjuntos $A' = A \setminus \{a_{k+1}\}$ e $B' = B \setminus \{f(a_{k+1})\}$ e tome a função $g : A' \rightarrow B'$ dada por $g(x) = f(x)$. Note que a função g está bem definida e ainda é injetora, pois f é injetora, e note que o conjunto A' tem k elementos. Pela hipótese indutiva, B' possui ao menos k elementos. Por como foi construído B' , concluímos que B possui ao menos $k + 1$ elementos, provando $P(k+1)$. Pelo PIF, $P(n)$ vale para todo $n \geq 1$.

- (b) $P(n)$: se um conjunto A tem n elementos e se existe uma função sobrejetora $f : A \rightarrow B$, então o conjunto B possui no máximo n elementos. Usaremos a *segunda versão* do PIF. Se $n = 1$, então $\text{Im } f$ só pode conter um elemento. Como $\text{Im } f = B$, resulta $|B| = 1$, logo $P(1)$ é verdadeira. Agora, assumamos que, fixado $n \in \mathbb{N}$, vale a propriedade $P(k)$ para todo $1 \leq k < n$, isto é: se $|A| = k < n$ (note que $|A| \geq 1$ pois $A \neq \emptyset$) e se existe uma função sobrejetora $f : A \rightarrow B$, então $|B| \leq k$. Provemos que vale $P(n)$. Para isso, seja A um conjunto de n elementos e seja $f : A \rightarrow B$ uma função sobrejetora. Escolha $b \in \text{Im } f$ e considere os conjuntos $A' = A \setminus f^{-1}(\{b\})$ e $B' = B \setminus \{b\}$. Tome a função $g : A' \rightarrow B'$ dada por $g(x) = f(x)$. Note que a função g está bem definida e ainda é sobrejetora. Note, por fim, que o conjunto A' tem um número $k < n$ de elementos. Pela hipótese indutiva, $|B'| \leq k$. Como $|B| = |B'| + 1$ e $k < n$, então $|B| \leq n$, o que prova $P(n)$. Pelo PIF (segunda versão), a propriedade $P(n)$ vale para todo $n \geq 1$.

Observação: A notação $f : D \subset X \rightarrow Y$ indica uma função $f : D \rightarrow Y$, onde $D \subset X$.