

**Questão 1.**

[1,5 pt] (a) Encontre a representação de  $x = \frac{50}{7} = 7 + \frac{1}{7}$  na base 2.

[1,0 pt] (b) Utilizando um sistema de ponto flutuante com base decimal, três dígitos significativos na mantissa e expoentes entre  $-9$  e  $9$  (o mesmo usado nas aulas), calcule o produto de  $1.23 \times 10^2$  e  $4.51 \times 10^{-1}$ , utilizando arredondamento com desempate por dígito menos significativo par.

*Solução 1(a):* Basta converter separadamente  $7$  e  $\frac{1}{7}$  para base 2 e depois concatenar as duas representações. Começamos com a parte inteira:

$$7 \div 2 = 3 \quad \text{resto } 1$$

$$3 \div 2 = 1 \quad \text{resto } 1$$

$$1 \div 2 = 0 \quad \text{resto } 1$$

Portanto,  $7_{10} = 111_2$ .

Agora convertendo a parte fracionária  $\frac{1}{7}$ :

$$\frac{1}{7} \times 2 = \frac{2}{7} \quad \text{parte inteira } 0$$

$$\frac{2}{7} \times 2 = \frac{4}{7} \quad \text{parte inteira } 0$$

$$\frac{4}{7} \times 2 = \frac{8}{7} \quad \text{parte inteira } 1$$

$$\frac{1}{7} \times 2 = \frac{2}{7} \quad \text{parte inteira } 0$$

$\vdots$

$\vdots$

Observe que a sequência de períodos se repete com período 3, logo  $\frac{1}{7} = 0.\overline{001}_2$ .

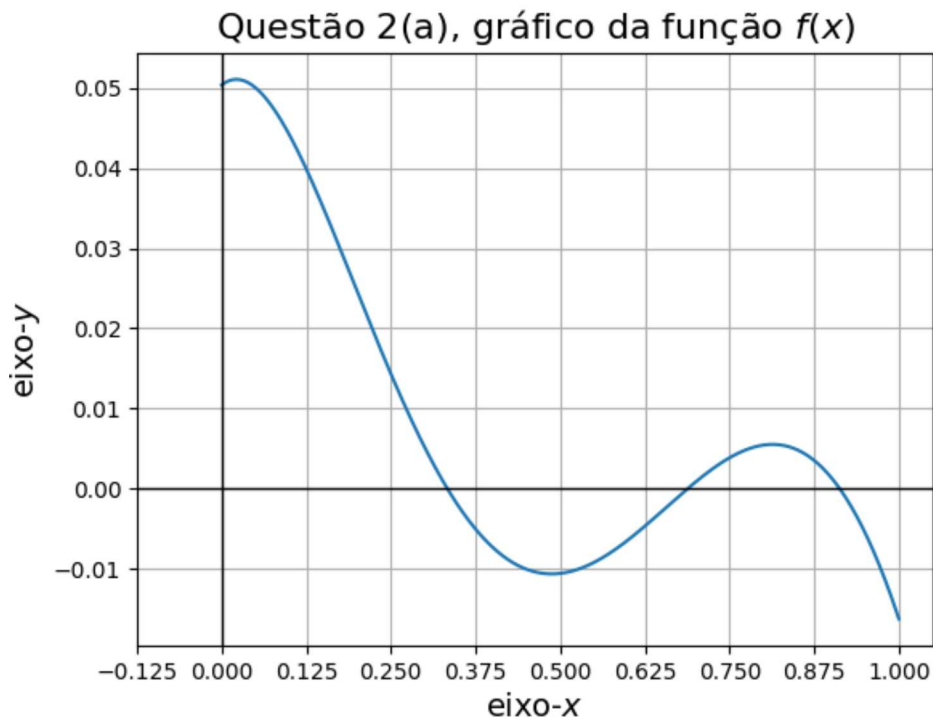
Concluimos que a representação de  $x = \frac{50}{7} = 7 + \frac{1}{7}$  na base 2 é

$$(111.001001001\dots)_2.$$

*Solução 1(b):*

$$\begin{array}{rcll} & 1.23 & \times 10^2 & \\ \times & 4.51 & \times 10^{-1} & \text{(multiplicando mantissas)} \\ \hline = & 4.92 & & \\ + & .615 & & \\ + & .0123) & \times 10^{2-1} & \text{(adicionando expoentes)} \\ = & 5.5473 & \times 10^1 & \text{(arredondando)} \\ = & 5.55 & \times 10^1 & \text{(resultado)} \end{array}$$

Observe que neste caso o modo de desempate é irrelevante, pois não há empate (i.e., o número 5.55 está mais próximo que 5.54 do resultado 5.5473 da multiplicação das mantissas).



**Questão 2.** Queremos aproximar um zero de uma função contínua  $f$  cujo gráfico se encontra na figura acima aplicando o método da bissecção no intervalo  $[0, 1]$ .

[1,5 pt] (a) No primeiro passo, o método fornece a estimativa  $0.5 = \frac{1}{2}$  para o zero. Qual é o valor da estimativa fornecida pelo quarto passo? (Você pode expressar sua resposta como um número racional se preferir.)

[1,5 pt] (b) Encontre o menor número  $n$  de passos necessário para garantir que a estimativa fornecida pelo método da bissecção está a uma distância menor que ou igual a  $10^{-6}$  de um zero (não é necessário calcular  $n$  explicitamente, mas simplifique ao máximo uma expressão para ele).

*Solução 2(a):* No método da bissecção, uma das extremidades do novo intervalo a ser considerado é o ponto médio  $m = \frac{a+b}{2}$  das extremidades do intervalo  $[a, b]$  anterior. A outra é escolhida dentre  $a$  ou  $b$  de modo que ainda haja troca de sinal no novo intervalo. No nosso caso, a sequência de estimativas é:

1.  $m \leftarrow \frac{1}{2} = 0.5, \quad [a, b] \leftarrow [0, 0.5]$ .
2.  $m \leftarrow \frac{1}{4} = 0.25, \quad [a, b] \leftarrow [0.25, 0.5]$ .
3.  $m \leftarrow \frac{3}{8} = 0.375, \quad [a, b] \leftarrow [0.25, 0.375]$ .
4.  $m \leftarrow \frac{5}{16} = 0.3125$ .

Portanto a quarta estimativa é

$$\frac{5}{16} = 0.3125.$$

*Solução 2(b):* Podemos garantir que há sempre um zero  $\zeta$  no intervalo considerado. Sejam  $I_n$  o  $n$ -ésimo intervalo e  $m_n$  o ponto médio dele, que é a estimativa para este zero no  $n$ -ésimo passo. Então a distância de  $\zeta$  a  $m_n$  é no máximo metade do comprimento de  $I_n$ . E a cada passo cortamos o comprimento do intervalo por um fator  $\frac{1}{2}$ , começando com  $I_1 = [0, 1]$ , que tem comprimento 1. Logo precisamos encontrar o menor inteiro  $n$  tal que:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^{n-1}} = \frac{1}{2^n} \leq 10^{-6},$$

ou seja,

$$n \geq \lg(10^6) = 6 \lg 10 \quad (\text{onde } \lg = \log_2).$$

O menor inteiro que satisfaz esta desigualdade é

$$n = \lceil 6 \lg 10 \rceil.$$

(O valor preciso é  $n = 20$  pois  $6 \lg 10 \approx 19.93$ .)

**Questão 3.**

- [1,5 pt] (a) Encontre o único polinômio de grau  $\leq 2$  passando pelos pontos  $(-1, a)$ ,  $(0, b)$  e  $(1, c)$ , onde  $a, b, c \in \mathbb{R}$  são constantes arbitrárias.
- [1,0 pt] (b) Deflacione  $f(z) = z^4 - (1 - i)z^3 - (4 + i)z^2 - (2 + 6i)z - 12$  a um polinômio de grau 3, sabendo que  $z = 3$  é uma raiz.

*Solução 3(a):* Seja  $p(x) = c_2x^2 + c_1x + c_0$  o polinômio que estamos procurando. Substituindo os valores dados, obtemos o seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} p(-1) &= c_2(-1)^2 + c_1(-1) + c_0 &= c_2 - c_1 + c_0 &= a \\ p(0) &= c_2 \cdot 0^2 + c_1 \cdot 0 + c_0 &= c_0 &= b \\ p(1) &= c_2 \cdot 1^2 + c_1 \cdot 1 + c_0 &= c_2 + c_1 + c_0 &= c \end{aligned}$$

Resolvendo este sistema, obtemos:

$$\begin{cases} c_2 = \frac{a+c}{2} - b \\ c_1 = \frac{c-a}{2} \\ c_0 = b \end{cases}$$

Concluimos que

$$p(x) = \left( \frac{a+c}{2} - b \right) x^2 + \frac{c-a}{2} x + b.$$

*Solução 3(b):* Basta aplicar a regra de Ruffini.

$$\begin{array}{r|rrrrr} 3 & 1 & -1+i & -4-i & -2-6i & -12 \\ & & 3 & 6+3i & 6+6i & 12 \\ \hline & 1 & 2+i & 2+2i & 4 & 0 \end{array}$$

Assim, o polinômio deflacionado é

$$z^3 + (2+i)z^2 + (2+2i)z + 4.$$

**Questão 4.**

- [1,0 pt] (a) Use duas iterações do método de Newton para aproximar  $\sqrt{2}$  como zero de uma função  $f(x)$  apropriada, usando a estimativa inicial  $x_0 = 1$ .
- [1,5 pt] (b) Encontre o maior  $r > 0$  tal que é possível garantir que o método de Newton aplicado a  $f$  converge a  $\sqrt{2}$  para qualquer estimativa inicial no intervalo aberto de raio  $r$  centrado em  $\sqrt{2}$ .

*Solução 4(a):* Observe que  $\sqrt{2}$  é a única raiz positiva de  $f(x) = x^2 - 2$ . As estimativas fornecidas pelo método de Newton são dadas por:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} = 1 - \frac{(1)^2 - 2}{2(1)} = \frac{3}{2}$$

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} = \frac{3}{2} - \frac{(\frac{3}{2})^2 - 2}{2(\frac{3}{2})} = \frac{3}{2} - \frac{1}{12} = \frac{17}{12}.$$

*Solução 4(b):* Precisamos encontrar o maior  $r$  tal que dentro do intervalo de centro  $\sqrt{2}$  e raio  $r$  valha

$$\left| \frac{f(x)f''(x)}{f'(x)^2} \right| < 1$$

em todo ponto. Substituindo  $f(x) = x^2 - 2$ ,  $f'(x) = 2x$  e  $f''(x) = 2$ , obtemos

$$\frac{|x^2 - 2| \cdot 2}{(2x)^2} = \frac{1}{2} \left| 1 - \frac{2}{x^2} \right| < 1 \quad (x \neq 0).$$

Equivalentemente,

$$\left| 1 - \frac{2}{x^2} \right| < 2 \quad (x \neq 0).$$

Ou ainda,

$$-2 < 1 - \frac{2}{x^2} < 2 \quad (x \neq 0).$$

Finalmente,

$$-2 < \frac{2}{x^2} < 3 \quad (x \neq 0).$$

A primeira desigualdade é trivialmente válida, e a segunda é válida desde que

$$x < -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \quad \text{ou} \quad \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} < x.$$

Concluimos portanto que o maior raio  $r > 0$  como no enunciado é

$$\sqrt{2} - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \sqrt{2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right).$$