

# CÁLCULO NUMÉRICO

## IME-UERJ

### 01 - Representação de números reais em binário

Rodrigo Madureira

rodrigo.madureira@ime.uerj.br

**Github:** <https://github.com/rodrigolrmdureira/CalculoNumericoUERJ/>

**AVA-UERJ:** <https://ava.pr1.uerj.br/course/view.php?id=6409>

# Sumário

- 1 Sistema Decimal - Números inteiros
- 2 Sistema Binário - Números inteiros
- 3 Conversão de bases
- 4 Representação de Números Reais no Computador
- 5 IEEE 754
- 6 Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante
- 7 Valor verdadeiro do número armazenado
- 8 Bibliografia

# Sistema Decimal - Números inteiros

Números na base 10:

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dez.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ .

**Exemplos:**

$$(21)_{10} = 2 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(2001)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(23457)_{10} = 2 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0.$$

# Sistema Decimal - Números inteiros

Números na base 10:

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dez.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ .

**Exemplos:**

$$(21)_{10} = 2 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(2001)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(23457)_{10} = 2 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0.$$

# Sistema Decimal - Números inteiros

Números na base 10:

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dez.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ .

**Exemplos:**

$$(21)_{10} = 2 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(2001)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(23457)_{10} = 2 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0.$$

# Sistema Decimal - Números inteiros

Números na base 10:

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dez.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times 10^n + a_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ .

**Exemplos:**

$$(21)_{10} = 2 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(2001)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 1 \times 10^0.$$

$$(23457)_{10} = 2 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0.$$

# Sistema Binário - Números inteiros

Base 2: usada nos computadores binários.

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dois.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2 \\ &= a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1\}$ .

**Exemplos:**

$$(101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

$$(1010)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0.$$

$$(110101)_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

# Sistema Binário - Números inteiros

Base 2: usada nos computadores binários.

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dois.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2 \\ &= a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1\}$ .

## Exemplos:

$$(101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

$$(1010)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0.$$

$$(110101)_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$



# Sistema Binário - Números inteiros

Base 2: usada nos computadores binários.

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dois.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2 \\ &= a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1\}$ .

## Exemplos:

$$(101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

$$(1010)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0.$$

$$(110101)_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

# Sistema Binário - Números inteiros

Base 2: usada nos computadores binários.

Cada posição digital de um número inteiro  $N$  representa uma potência de dois.

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2 \\ &= a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i \in \{0, 1\}$ .

## Exemplos:

$$(101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

$$(1010)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0.$$

$$(110101)_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

# Conversão de bases

Um número na base  $\beta$  pode ser convertido para base decimal como

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i$  são os dígitos do número representado na base  $\beta$ .

**Exemplo 1:** Converta  $(110)_2$  para a base decimal.

$$(110)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (6)_{10}.$$

**Exemplo 2:** Converta  $(1001)_2$  para a base decimal.

$$(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (9)_{10}.$$

# Conversão de bases

Um número na base  $\beta$  pode ser convertido para base decimal como

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i$  são os dígitos do número representado na base  $\beta$ .

**Exemplo 1:** Converta  $(110)_2$  para a base decimal.

$$(110)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (6)_{10}.$$

**Exemplo 2:** Converta  $(1001)_2$  para a base decimal.

$$(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (9)_{10}.$$

# Conversão de bases

Um número na base  $\beta$  pode ser convertido para base decimal como

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i$  são os dígitos do número representado na base  $\beta$ .

**Exemplo 1:** Converta  $(110)_2$  para a base decimal.

$$(110)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (6)_{10}.$$

**Exemplo 2:** Converta  $(1001)_2$  para a base decimal.

$$(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (9)_{10}.$$

# Conversão de bases

Um número na base  $\beta$  pode ser convertido para base decimal como

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i$  são os dígitos do número representado na base  $\beta$ .

**Exemplo 1:** Converta  $(110)_2$  para a base decimal.

$$(110)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (6)_{10}.$$

**Exemplo 2:** Converta  $(1001)_2$  para a base decimal.

$$(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (9)_{10}.$$

# Conversão de bases

Um número na base  $\beta$  pode ser convertido para base decimal como

$$\begin{aligned} N &= (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_{10} \\ &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0, \end{aligned}$$

onde  $a_i$  são os dígitos do número representado na base  $\beta$ .

**Exemplo 1:** Converta  $(110)_2$  para a base decimal.

$$(110)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (6)_{10}.$$

**Exemplo 2:** Converta  $(1001)_2$  para a base decimal.

$$(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (9)_{10}.$$

# Conversão de bases

Conversão da base decimal para a base  $\beta$ :

Divisões sucessivas do número em base decimal por  $\beta$  até que o quociente seja igual a zero.

O número na base  $\beta$  é formado pela concatenação em ordem inversa dos restos das divisões.

**Exemplo 1:** Converta  $(25)_{10}$  para a base 2.

$$\begin{array}{r}
 25 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 24 \quad | \quad 12 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 1 \quad | \quad 12 \quad | \quad 6 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad 0 \quad | \quad 6 \quad | \quad 3 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad \quad 0 \quad | \quad 2 \quad | \quad 1 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1
 \end{array}$$

←

$$25 = 11001_2$$



# Conversão de bases

Conversão da base decimal para a base  $\beta$ :

Divisões sucessivas do número em base decimal por  $\beta$  até que o quociente seja igual a zero.

O número na base  $\beta$  é formado pela concatenação em ordem inversa dos restos das divisões.

**Exemplo 1:** Converta  $(25)_{10}$  para a base 2.

$$\begin{array}{r}
 25 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 24 \quad | \quad 12 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 1 \quad | \quad 12 \quad | \quad 6 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad 0 \quad | \quad 6 \quad | \quad 3 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad \quad 0 \quad | \quad 2 \quad | \quad 1 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1
 \end{array}$$

←

$$25 = 11001_2$$

# Conversão de bases

Conversão da base decimal para a base  $\beta$ :

Divisões sucessivas do número em base decimal por  $\beta$  até que o quociente seja igual a zero.

O número na base  $\beta$  é formado pela concatenação em ordem inversa dos restos das divisões.

**Exemplo 1:** Converta  $(25)_{10}$  para a base 2.

$$\begin{array}{r}
 25 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 24 \quad | \quad 12 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 1 \quad | \quad 12 \quad | \quad 6 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad 0 \quad | \quad 6 \quad | \quad 3 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad \quad 0 \quad | \quad 2 \quad | \quad 1 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1
 \end{array}$$

←

$$25 = 11001_2$$

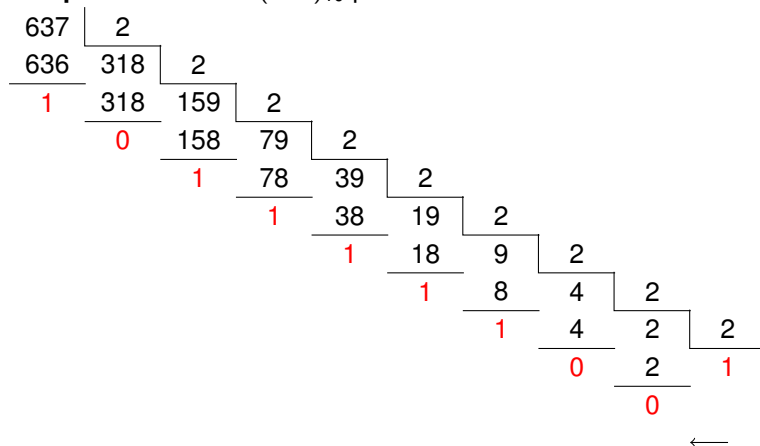
# Conversão de bases

**Exemplo 2:** Converta  $(637)_{10}$  para a base 2.

$$637 = 1001111101_2$$

# Conversão de bases

**Exemplo 2:** Converta  $(637)_{10}$  para a base 2.



$$637 = 1001111101_2$$

# Representação de Números Reais no Computador

Um número real positivo  $N$  na base  $\beta$  pode ser escrito como

$$\begin{aligned}
 N &= (\underbrace{a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0}_{N_{\text{int}}}, \underbrace{b_1 b_2 b_3 \dots}_{N_{\text{frac}}})_{\beta} \\
 &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0 \\
 &\quad + b_1 \times \beta^{-1} + b_2 \times \beta^{-2} + b_3 \times \beta^{-3} \dots \\
 &= \underbrace{\sum_{i=0}^n a_i \times \beta^i}_{N_{\text{int}}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{\infty} b_i \times \beta^{-i}}_{N_{\text{frac}}},
 \end{aligned}$$

onde  $N_{\text{int}}$  é a parte inteira de  $N$  e  $N_{\text{frac}}$  é a parte fracionária de  $N$ .

**Exemplo 1:**

$$(123,45)_{10} = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}.$$

**Exemplo 2:**

$$(101,101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (5,625)_{10}$$

# Representação de Números Reais no Computador

Um número real positivo  $N$  na base  $\beta$  pode ser escrito como

$$\begin{aligned}
 N &= (\underbrace{a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0}_{N_{\text{int}}}, \underbrace{b_1 b_2 b_3 \dots}_{N_{\text{frac}}})_{\beta} \\
 &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0 \\
 &\quad + b_1 \times \beta^{-1} + b_2 \times \beta^{-2} + b_3 \times \beta^{-3} \dots \\
 &= \underbrace{\sum_{i=0}^n a_i \times \beta^i}_{N_{\text{int}}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{\infty} b_i \times \beta^{-i}}_{N_{\text{frac}}},
 \end{aligned}$$

onde  $N_{\text{int}}$  é a parte inteira de  $N$  e  $N_{\text{frac}}$  é a parte fracionária de  $N$ .

## Exemplo 1:

$$(123,45)_{10} = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}.$$

## Exemplo 2:

$$(101,101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (5,625)_{10}$$

# Representação de Números Reais no Computador

Um número real positivo  $N$  na base  $\beta$  pode ser escrito como

$$\begin{aligned}
 N &= (\underbrace{a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0}_{N_{\text{int}}}, \underbrace{b_1 b_2 b_3 \dots}_{N_{\text{frac}}})_{\beta} \\
 &= a_n \times \beta^n + a_{n-1} \times \beta^{n-1} + \dots + a_1 \times \beta^1 + a_0 \times \beta^0 \\
 &\quad + b_1 \times \beta^{-1} + b_2 \times \beta^{-2} + b_3 \times \beta^{-3} \dots \\
 &= \underbrace{\sum_{i=0}^n a_i \times \beta^i}_{N_{\text{int}}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{\infty} b_i \times \beta^{-i}}_{N_{\text{frac}}},
 \end{aligned}$$

onde  $N_{\text{int}}$  é a parte inteira de  $N$  e  $N_{\text{frac}}$  é a parte fracionária de  $N$ .

## Exemplo 1:

$$(123, 45)_{10} = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}.$$

## Exemplo 2:

$$(101, 101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (5, 625)_{10}.$$

# Representação de Números Reais no Computador

- Conversão de base binária para decimal
  - ▶ Similar ao caso inteiro
- Conversão de base decimal para binária
  - ▶ Converte-se a parte inteira
    - ★ Divisões sucessivas e os restos na ordem reversa
  - ▶ Converte-se a parte fracionária
    - ★ Multiplicações sucessivas e as partes inteiras na ordem direta

**Exemplo:** Converta  $(12,675)_{10}$  para a base binária

Parte inteira:  $(12)_{10} \Rightarrow$  Divisões sucessivas

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas



# Representação de Números Reais no Computador

- Conversão de base binária para decimal
  - ▶ Similar ao caso inteiro
- Conversão de base decimal para binária
  - ▶ Converte-se a parte inteira
    - ★ Divisões sucessivas e os restos na ordem reversa
  - ▶ Converte-se a parte fracionária
    - ★ Multiplicações sucessivas e as partes inteiras na ordem direta

**Exemplo:** Converta  $(12,675)_{10}$  para a base binária

Parte inteira:  $(12)_{10} \Rightarrow$  Divisões sucessivas

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

# Representação de Números Reais no Computador

- Conversão de base binária para decimal
  - ▶ Similar ao caso inteiro
- Conversão de base decimal para binária
  - ▶ Converte-se a parte inteira
    - ★ Divisões sucessivas e os restos na ordem reversa
  - ▶ Converte-se a parte fracionária
    - ★ Multiplicações sucessivas e as partes inteiras na ordem direta

**Exemplo:** Converta  $(12,675)_{10}$  para a base binária

Parte inteira:  $(12)_{10} \Rightarrow$  Divisões sucessivas

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

# Representação de Números Reais no Computador

- Conversão de base binária para decimal
  - ▶ Similar ao caso inteiro
- Conversão de base decimal para binária
  - ▶ Converte-se a parte inteira
    - ★ Divisões sucessivas e os restos na ordem reversa
  - ▶ Converte-se a parte fracionária
    - ★ Multiplicações sucessivas e as partes inteiras na ordem direta

**Exemplo:** Converta  $(12,675)_{10}$  para a base binária

Parte inteira:  $(12)_{10} \Rightarrow$  Divisões sucessivas

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

# Representação de Números Reais no Computador

Parte inteira:  $(12)_{10} \Rightarrow$  Divisões sucessivas

$$\begin{array}{r}
 12 \overline{) 2} \\
 \underline{12} \phantom{0} \\
 0 \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \\
 6 \overline{) 2} \\
 \underline{6} \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \\
 0 \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \\
 6 \overline{) 3} \\
 \underline{6} \phantom{0} \phantom{0} \\
 0 \phantom{0} \phantom{0} \\
 2 \overline{) 2} \\
 \underline{2} \phantom{0} \\
 0 \phantom{0} \\
 2 \overline{) 1} \\
 \underline{2} \\
 0
 \end{array}$$

←

$$12 = 1100_2$$

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

# Representação de Números Reais no Computador

Parte inteira:  $(12)_{10} \Rightarrow$  Divisões sucessivas

$$\begin{array}{r}
 12 \overline{) 2} \\
 \underline{12} \phantom{0} \\
 0 \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \\
 \phantom{0} 6 \overline{) 2} \\
 \underline{\phantom{0} 6} \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \\
 \phantom{0} 0 \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} \\
 \phantom{0} \phantom{0} 3 \overline{) 2} \\
 \underline{\phantom{0} \phantom{0} 2} \phantom{0} \phantom{0} \\
 \phantom{0} \phantom{0} 0 \phantom{0} \phantom{0} \\
 \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} 2 \overline{) 1} \\
 \underline{\phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} 2} \\
 \phantom{0} \phantom{0} \phantom{0} 0
 \end{array}$$

←

$$12 = 1100_2$$

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$



# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$



# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0,101011001100110\dots)_2 = (0,1010110)_2$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100,101011001100110\dots)_2 = (1100,1010110)_2$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0, 101011001100110\dots)_2 = (0, 1010110)_{\overline{2}}$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100, 101011001100110\dots)_2 = (1100, 1010110)_{\overline{2}}$

# Representação de Números Reais no Computador

Parte fracionária:  $(0,675)_{10} \Rightarrow$  Multiplicações sucessivas

$0,675 \times 2 = 1,35$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,35 e multiplico por 2)

$0,35 \times 2 = 0,70$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,70 por 2)

$0,70 \times 2 = 1,40$  (Parte inteira: 1  $\Rightarrow$  Subtraio 1 de 1,40 e multiplico por 2)

$0,40 \times 2 = 0,80$  (Parte inteira: 0  $\Rightarrow$  Apenas multiplico 0,80 por 2)

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$0,40 \times 2 = 0,80$

$0,80 \times 2 = 1,60$

$0,60 \times 2 = 1,20$

$0,20 \times 2 = 0,40$

$\dots \Rightarrow (0,675)_{10} = (0, 101011001100110\dots)_2 = (0, 1010110)_{\overline{2}}$

Logo,  $(12,675)_{10} = (1100, 101011001100110\dots)_2 = (1100, 1010110)_{\overline{2}}$

# Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

## Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

## Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

# Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

## Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

## Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.



## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

## Ponto fixo e ponto flutuante

Em todos esses exemplos, a posição da vírgula está fixa, separando a casa das unidades da primeira casa fracionária.

Entretanto, pode-se variar a posição da vírgula, corrigindo-se o valor com a potência da base, seja dez ou dois, dependendo do sistema que se use.

### Exemplo 1 (Base decimal):

$$(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1 = 0,4531 \times 10^2 = 453,1 \times 10^{-1}$$

### Exemplo 2 (Base binária):

$$(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3 = 0,111001 \times 2^4 = 11100,1 \times 2^{-1}$$

Chama-se a isso **ponto flutuante (floating point)**, pois no lugar de se deixar sempre a posição da vírgula entre a casa das unidades e a primeira casa decimal, flutua-se a posição da vírgula e corrige-se com a potência da base.

# Forma normalizada

Como se vê, há diferentes maneiras de escrever o mesmo número.

Chama-se forma normalizada aquela que apresenta um único dígito diferente de zero antes da vírgula.

**Exemplo 1 na forma normalizada:**  $(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1$

**Exemplo 2 na forma normalizada:**  $(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3$

Outros exemplos:

$$(110101)_2 = 1,10101 \times 2^5 = (53)_{10}.$$

$$(0,0011)_2 = 1,1 \times 2^{-3} = (0,1875)_{10}.$$

$$(0,1001)_2 = 1,001 \times 2^{-1} = (0,5625)_{10}.$$

# Forma normalizada

Como se vê, há diferentes maneiras de escrever o mesmo número.

Chama-se **forma normalizada** aquela que apresenta **um único dígito diferente de zero** antes da vírgula.

Exemplo 1 na forma normalizada:  $(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1$

Exemplo 2 na forma normalizada:  $(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3$

Outros exemplos:

$$(110101)_2 = 1,10101 \times 2^5 = (53)_{10}.$$

$$(0,0011)_2 = 1,1 \times 2^{-3} = (0,1875)_{10}.$$

$$(0,1001)_2 = 1,001 \times 2^{-1} = (0,5625)_{10}.$$

# Forma normalizada

Como se vê, há diferentes maneiras de escrever o mesmo número.

Chama-se **forma normalizada** aquela que apresenta **um único dígito diferente de zero** antes da vírgula.

**Exemplo 1 na forma normalizada:**  $(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1$

**Exemplo 2 na forma normalizada:**  $(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3$

**Outros exemplos:**

$$(110101)_2 = 1,10101 \times 2^5 = (53)_{10}.$$

$$(0,0011)_2 = 1,1 \times 2^{-3} = (0,1875)_{10}.$$

$$(0,1001)_2 = 1,001 \times 2^{-1} = (0,5625)_{10}.$$



# Forma normalizada

Como se vê, há diferentes maneiras de escrever o mesmo número.

Chama-se **forma normalizada** aquela que apresenta **um único dígito diferente de zero** antes da vírgula.

**Exemplo 1 na forma normalizada:**  $(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1$

**Exemplo 2 na forma normalizada:**  $(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3$

Outros exemplos:

$$(110101)_2 = 1,10101 \times 2^5 = (53)_{10}.$$

$$(0,0011)_2 = 1,1 \times 2^{-3} = (0,1875)_{10}.$$

$$(0,1001)_2 = 1,001 \times 2^{-1} = (0,5625)_{10}.$$

# Forma normalizada

Como se vê, há diferentes maneiras de escrever o mesmo número.

Chama-se **forma normalizada** aquela que apresenta **um único dígito diferente de zero** antes da vírgula.

**Exemplo 1 na forma normalizada:**  $(45,31)_{10} = 4,531 \times 10^1$

**Exemplo 2 na forma normalizada:**  $(1110,01)_2 = 1,11001 \times 2^3$

**Outros exemplos:**

$$(110101)_2 = 1,10101 \times 2^5 = (53)_{10}.$$

$$(0,0011)_2 = 1,1 \times 2^{-3} = (0,1875)_{10}.$$

$$(0,1001)_2 = 1,001 \times 2^{-1} = (0,5625)_{10}.$$

# Representação de Números Reais no Computador

O computador representa os números em sistema binário.

- A representação é finita
  - ▶ Números como o  $\pi = 3,1415\dots$  são aproximados.

Vamos usar a representação em ponto flutuante na forma normalizada.

**Exemplo:**  $110101 = 1,10101 \times 2^5$

Chama-se **mantissa** ao número  $1,10101$  e **expoente** ao número  $101$ , que é  $5_2$ , deste exemplo.

Para se definir a maneira como o computador armazenará o número real em ponto flutuante, é preciso definir o número de bits que ele usará para representar a mantissa e o número de bits para o expoente.

# Representação de Números Reais no Computador

O computador representa os números em sistema binário.

- A representação é finita
  - ▶ Números como o  $\pi = 3,1415\dots$  são aproximados.

Vamos usar a representação em ponto flutuante na forma normalizada.

**Exemplo:**  $110101 = 1,10101 \times 2^5$

Chama-se **mantissa** ao número  $1,10101$  e **expoente** ao número  $101$ , que é  $5_2$ , deste exemplo.

Para se definir a maneira como o computador armazenará o número real em ponto flutuante, é preciso definir o número de bits que ele usará para representar a mantissa e o número de bits para o expoente.

# Representação de Números Reais no Computador

O computador representa os números em sistema binário.

- A representação é finita
  - ▶ Números como o  $\pi = 3,1415\dots$  são aproximados.

Vamos usar a representação em ponto flutuante na forma normalizada.

**Exemplo:**  $110101 = 1,10101 \times 2^5$

Chama-se **mantissa** ao número  $1,10101$  e **expoente** ao número  $101$ , que é  $5_2$ , deste exemplo.

Para se definir a maneira como o computador armazenará o número real em ponto flutuante, é preciso definir o número de bits que ele usará para representar a mantissa e o número de bits para o expoente.

# Representação de Números Reais no Computador

O computador representa os números em sistema binário.

- A representação é finita
  - ▶ Números como o  $\pi = 3,1415\dots$  são aproximados.

Vamos usar a representação em ponto flutuante na forma normalizada.

**Exemplo:**  $110101 = 1,10101 \times 2^5$

Chama-se **mantissa** ao número  $1,10101$  e **expoente** ao número  $101$ , que é  $5_2$ , deste exemplo.

Para se definir a maneira como o computador armazenará o número real em ponto flutuante, é preciso definir o número de bits que ele usará para representar a mantissa e o número de bits para o expoente.

# Representação de Números Reais no Computador

O computador representa os números em sistema binário.

- A representação é finita
  - ▶ Números como o  $\pi = 3,1415\dots$  são aproximados.

Vamos usar a representação em ponto flutuante na forma normalizada.

**Exemplo:**  $110101 = 1,10101 \times 2^5$

Chama-se **mantissa** ao número  $1,10101$  e **expoente** ao número  $101$ , que é  $5_2$ , deste exemplo.

Para se definir a maneira como o computador armazenará o número real em ponto flutuante, é preciso definir o número de bits que ele usará para representar a mantissa e o número de bits para o expoente.

# Representação de Números Reais no Computador

O computador representa os números em sistema binário.

- A representação é finita
  - ▶ Números como o  $\pi = 3,1415\dots$  são aproximados.

Vamos usar a representação em ponto flutuante na forma normalizada.

**Exemplo:**  $110101 = 1,10101 \times 2^5$

Chama-se **mantissa** ao número  $1,10101$  e **expoente** ao número  $101$ , que é  $5_2$ , deste exemplo.

Para se definir a maneira como o computador armazenará o número real em ponto flutuante, é preciso definir o número de bits que ele usará para representar a mantissa e o número de bits para o expoente.



# Representação de Números Reais no Computador

Para armazenar a mantissa, é dispensável representar o "1,", por estar sempre presente, sendo também desnecessário armazenar o 2, base do sistema.

Suponha-se que um determinado computador reserve **1 byte**, isto é, **8 bits**, para representar os números reais.

Admita-se que usa o primeiro bit para sinal do número, três bits seguintes para o expoente e os últimos quatro bits para o restante da mantissa.



Tabela: Representação em ponto flutuante

# Representação de Números Reais no Computador

Para armazenar a mantissa, é dispensável representar o "1,", por estar sempre presente, sendo também desnecessário armazenar o 2, base do sistema.

Suponha-se que um determinado computador reserve **1 byte**, isto é, **8 bits**, para representar os números reais.

Admita-se que usa o primeiro bit para sinal do número, três bits seguintes para o expoente e os últimos quatro bits para o restante da mantissa.



Tabela: Representação em ponto flutuante

# Representação de Números Reais no Computador

Para armazenar a mantissa, é dispensável representar o "1," por estar sempre presente, sendo também desnecessário armazenar o 2, base do sistema.

Suponha-se que um determinado computador reserve **1 byte**, isto é, **8 bits**, para representar os números reais.

Admita-se que usa o primeiro bit para sinal do número, três bits seguintes para o expoente e os últimos quatro bits para o restante da mantissa.



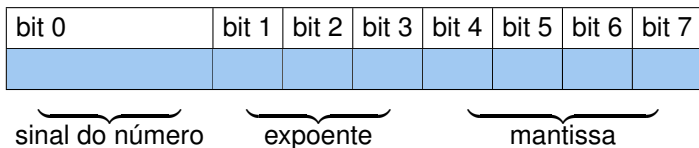
Tabela: Representação em ponto flutuante

# Representação de Números Reais no Computador

Para armazenar a mantissa, é dispensável representar o "1,", por estar sempre presente, sendo também desnecessário armazenar o 2, base do sistema.

Suponha-se que um determinado computador reserve **1 byte**, isto é, **8 bits**, para representar os números reais.

Admita-se que usa o primeiro bit para sinal do número, três bits seguintes para o expoente e os últimos quatro bits para o restante da mantissa.



**Tabela:** Representação em ponto flutuante

# Representação de Números Reais no Computador

O bit 0 indica o sinal do número: 0 positivo, 1 negativo.

Os bits 1, 2 e 3 constituem o expoente e precisam representar tanto expoentes positivos quanto expoentes negativos.

bits	expoente	valor em decimal
000	Desnormalizado ( $-2$ )	
001	$-2$	1
010	$-1$	2
011	0	3
100	$+1$	4
101	$+2$	5
110	$+3$	6
111	NaN, Inf., Indet.	

Tabela: Tabela para os bits do expoente do exemplo

# Representação de Números Reais no Computador

O bit 0 indica o sinal do número: 0 positivo, 1 negativo.

Os bits 1, 2 e 3 constituem o expoente e precisam representar tanto expoentes positivos quanto expoentes negativos.

bits	expoente	valor em decimal
000	Desnormalizado ( $-2$ )	
001	$-2$	1
010	$-1$	2
011	0	3
100	$+1$	4
101	$+2$	5
110	$+3$	6
111	NaN, Inf., Indet.	

Tabela: Tabela para os bits do expoente do exemplo

# Representação de Números Reais no Computador

O bit 0 indica o sinal do número: 0 positivo, 1 negativo.

Os bits 1, 2 e 3 constituem o expoente e precisam representar tanto expoentes positivos quanto expoentes negativos.

bits	expoente	valor em decimal
000	Desnormalizado ( $-2$ )	
001	$-2$	1
010	$-1$	2
011	0	3
100	$+1$	4
101	$+2$	5
110	$+3$	6
111	NaN, Inf., Indet.	

**Tabela:** Tabela para os bits do expoente do exemplo

# Representação de Números Reais no Computador

Dessa maneira, o número que representa o expoente será o valor em decimal menos três.

Os bits da mantissa representam os dígitos que aparecem depois da vírgula na forma normalizada.

## Exemplo 1:

$$(3,5)_{10} = (11,1)_2 = 1,11 \times 2^1 = 1,1100 \times 2^1 \Rightarrow$$

bit de sinal: 0; bits do expoente: 100; mantissa: 1100

0				1	0	0	1	1	0	0
---	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---

sinal do número
expoente
mantissa

Tabela: Exemplo 1



# Representação de Números Reais no Computador

Dessa maneira, o número que representa o expoente será o valor em decimal menos três.

Os bits da mantissa representam os dígitos que aparecem depois da vírgula na forma normalizada.

## Exemplo 1:

$$(3,5)_{10} = (11,1)_2 = 1,11 \times 2^1 = 1,1100 \times 2^1 \Rightarrow$$

bit de sinal: 0; bits do expoente: 100; mantissa: 1100

0				1	0	0	1	1	0	0
---	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---

sinal do número
expoente
mantissa

Tabela: Exemplo 1

# Representação de Números Reais no Computador

Dessa maneira, o número que representa o expoente será o valor em decimal menos três.

Os bits da mantissa representam os dígitos que aparecem depois da vírgula na forma normalizada.

## Exemplo 1:

$$(3,5)_{10} = (11,1)_2 = 1,11 \times 2^1 = 1,1100 \times 2^1 \Rightarrow$$

bit de sinal: 0; bits do expoente: 100; mantissa: 1100

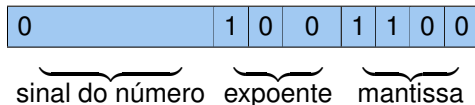


Tabela: Exemplo 1

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 2:

$$(-7, 25)_{10} = (-111, 01)_2 = -1, 1101 \times 2^2 \Rightarrow$$

bit de sinal: 1; bits do expoente: 101; mantissa: 1101

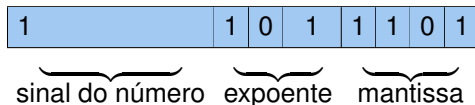


Tabela: Exemplo 2

## Exemplo 3 - Maior número positivo:



Tabela: Exemplo 3

$$1,1111 \times 2^3 = (15,5)_{10}$$

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 2:

$$(-7, 25)_{10} = (-111, 01)_2 = -1, 1101 \times 2^2 \Rightarrow$$

bit de sinal: 1; bits do expoente: 101; mantissa: 1101

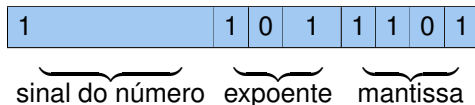


Tabela: Exemplo 2

## Exemplo 3 - Maior número positivo:



Tabela: Exemplo 3

$$1, 1111 \times 2^3 = (15, 5)_{10}$$

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 2:

$$(-7, 25)_{10} = (-111, 01)_2 = -1, 1101 \times 2^2 \Rightarrow$$

bit de sinal: 1; bits do expoente: 101; mantissa: 1101

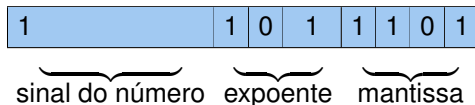


Tabela: Exemplo 2

## Exemplo 3 - Maior número positivo:

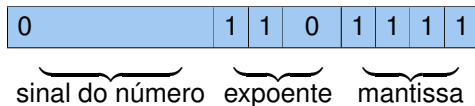


Tabela: Exemplo 3

$$1, 1111 \times 2^3 = (15, 5)_{10}$$

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 2:

$$(-7, 25)_{10} = (-111, 01)_2 = -1, 1101 \times 2^2 \Rightarrow$$

bit de sinal: 1; bits do expoente: 101; mantissa: 1101

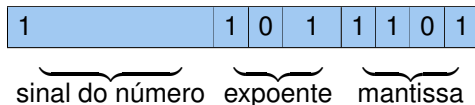


Tabela: Exemplo 2

## Exemplo 3 - Maior número positivo:

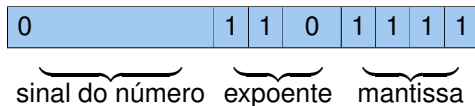


Tabela: Exemplo 3

$$1, 1111 \times 2^3 = (15, 5)_{10}$$

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:



Tabela: Exemplo 4

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:



Tabela: Exemplo 4



# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:



Tabela: Exemplo 4

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:



Tabela: Exemplo 4

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:



Tabela: Exemplo 4

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:

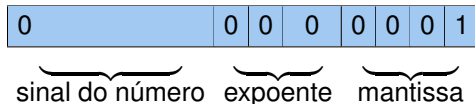


Tabela: Exemplo 4

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 4 - Menor número positivo:

Devemos lembrar que os expoentes 000 e 111 possuem tratamento especial.

Usa-se o expoente 000 para indicar que o número não está normalizado.

Assim, 000 será configurado como o menor expoente, isto é,  $-2$  neste exemplo.

Na forma desnormalizada, a mantissa passa a ser  $0, b_1 b_2 b_3 b_4$ , onde  $b_1, \dots, b_4$  são os bits da mantissa neste exemplo.

Assim, o menor número positivo armazenado pelo computador de 8 bits recebe a seguinte configuração:

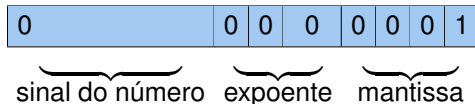


Tabela: Exemplo 4

# Representação de Números Reais no Computador

A configuração

0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

representa  $+0$ ,

enquanto a configuração

1	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

representa  $-0$ , devendo ambos serem reconhecidos como iguais nas comparações.

O expoente 111 é reservado para representar  $+\infty$ ,

0	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

e  $-\infty$ , que é representado por

1	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

bastando trocar o bit de sinal do número para 1 por ser negativo.

As demais combinações com o expoente 111 não são válidas, sendo consideradas (NaN, ou Not a Number).

# Representação de Números Reais no Computador

A configuração

0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

representa  $+0$ ,

enquanto a configuração

1	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

representa  $-0$ , devendo ambos serem reconhecidos como iguais nas comparações.

O expoente 111 é reservado para representar  $+\infty$ ,

0	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

e  $-\infty$ , que é representado por

1	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

bastando trocar o bit de sinal do número para 1 por ser negativo.

As demais combinações com o expoente 111 não são válidas, sendo consideradas (NaN, ou Not a Number).

# Representação de Números Reais no Computador

A configuração

0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

representa  $+0$ ,

enquanto a configuração

1	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

representa  $-0$ , devendo ambos serem reconhecidos como iguais nas comparações.

O expoente 111 é reservado para representar  $+\infty$ ,

0	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

e  $-\infty$ , que é representado por

1	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

bastando trocar o bit de sinal do número para 1 por ser negativo.

As demais combinações com o expoente 111 não são válidas, sendo consideradas (NaN, ou Not a Number).



# Representação de Números Reais no Computador

E quando a mantissa não cabe nos 4 bits?

Somos obrigados a arredondar a mantissa para que ela caiba nos 4 bits.

Vamos, assim, perder precisão no número e ele não mais representará, exatamente, o número desejado.

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,001011 \times 2^3$$

⇒ Possui 6 dígitos depois da vírgula, mas o computador só tem reservados 4 bits para a mantissa.

⇒ Deve ser feito o arredondamento para 4 casas decimais: se o dígito abandonado após as 4 casas decimais for menor que 1 (ou seja, se for 0), os dígitos anteriores devem ser mantidos. Se o dígito abandonado for igual a 1, somo 1 ao dígito anterior.

# Representação de Números Reais no Computador

E quando a mantissa não cabe nos 4 bits?

Somos obrigados a arredondar a mantissa para que ela caiba nos 4 bits.

Vamos, assim, perder precisão no número e ele não mais representará, exatamente, o número desejado.

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,001011 \times 2^3$$

⇒ Possui 6 dígitos depois da vírgula, mas o computador só tem reservados 4 bits para a mantissa.

⇒ Deve ser feito o arredondamento para 4 casas decimais: se o dígito abandonado após as 4 casas decimais for menor que 1 (ou seja, se for 0), os dígitos anteriores devem ser mantidos. Se o dígito abandonado for igual a 1, somo 1 ao dígito anterior.

# Representação de Números Reais no Computador

E quando a mantissa não cabe nos 4 bits?

Somos obrigados a arredondar a mantissa para que ela caiba nos 4 bits.

Vamos, assim, perder precisão no número e ele não mais representará, exatamente, o número desejado.

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,001011 \times 2^3$$

⇒ Possui 6 dígitos depois da vírgula, mas o computador só tem reservados 4 bits para a mantissa.

⇒ Deve ser feito o arredondamento para 4 casas decimais: se o dígito abandonado após as 4 casas decimais for menor que 1 (ou seja, se for 0), os dígitos anteriores devem ser mantidos. Se o dígito abandonado for igual a 1, somo 1 ao dígito anterior.

# Representação de Números Reais no Computador

E quando a mantissa não cabe nos 4 bits?

Somos obrigados a arredondar a mantissa para que ela caiba nos 4 bits.

Vamos, assim, perder precisão no número e ele não mais representará, exatamente, o número desejado.

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,001011 \times 2^3$$

⇒ Possui 6 dígitos depois da vírgula, mas o computador só tem reservados 4 bits para a mantissa.

⇒ Deve ser feito o arredondamento para 4 casas decimais: se o dígito abandonado após as 4 casas decimais for menor que 1 (ou seja, se for 0), os dígitos anteriores devem ser mantidos. Se o dígito abandonado for igual a 1, somo 1 ao dígito anterior.

# Representação de Números Reais no Computador

E quando a mantissa não cabe nos 4 bits?

Somos obrigados a arredondar a mantissa para que ela caiba nos 4 bits.

Vamos, assim, perder precisão no número e ele não mais representará, exatamente, o número desejado.

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,001011 \times 2^3$$

⇒ Possui 6 dígitos depois da vírgula, mas o computador só tem reservados 4 bits para a mantissa.

⇒ Deve ser feito o arredondamento para 4 casas decimais: se o dígito abandonado após as 4 casas decimais for menor que 1 (ou seja, se for 0), os dígitos anteriores devem ser mantidos. Se o dígito abandonado for igual a 1, somo 1 ao dígito anterior.

# Representação de Números Reais no Computador

E quando a mantissa não cabe nos 4 bits?

Somos obrigados a arredondar a mantissa para que ela caiba nos 4 bits.

Vamos, assim, perder precisão no número e ele não mais representará, exatamente, o número desejado.

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,001011 \times 2^3$$

⇒ Possui 6 dígitos depois da vírgula, mas o computador só tem reservados 4 bits para a mantissa.

⇒ Deve ser feito o arredondamento para 4 casas decimais: se o dígito abandonado após as 4 casas decimais for menor que 1 (ou seja, se for 0), os dígitos anteriores devem ser mantidos. Se o dígito abandonado for igual a 1, somo 1 ao dígito anterior.

# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,0010\textcolor{red}{11} \times 2^3 = 1,0011 \times 2^3$$



$$\text{Exemplo 6: } (9,125)_{10} = (1001,001)_2 = 1,0010\textcolor{red}{01} \times 2^3 = 1,0010 \times 2^3$$



# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,0010\textcolor{red}{11} \times 2^3 = 1,0011 \times 2^3$$



$$\text{Exemplo 6: } (9,125)_{10} = (1001,001)_2 = 1,0010\textcolor{red}{01} \times 2^3 = 1,0010 \times 2^3$$

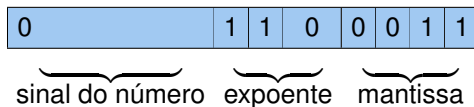




# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,0010\textcolor{red}{11} \times 2^3 = 1,0011 \times 2^3$$



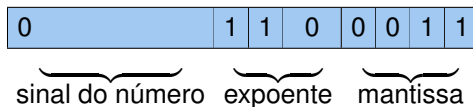
$$\text{Exemplo 6: } (9,125)_{10} = (1001,001)_2 = 1,0010\textcolor{red}{01} \times 2^3 = 1,0010 \times 2^3$$



# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,0010\textcolor{red}{11} \times 2^3 = 1,0011 \times 2^3$$



## Exemplo 6:

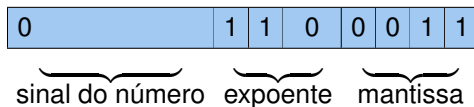
$$(9,125)_{10} = (1001,001)_2 = 1,0010\textcolor{red}{01} \times 2^3 = 1,0010 \times 2^3$$



# Representação de Números Reais no Computador

## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,0010\textcolor{red}{11} \times 2^3 = 1,0011 \times 2^3$$



## Exemplo 6:

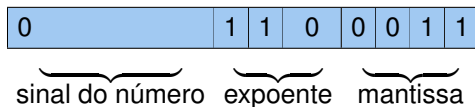
$$(9,125)_{10} = (1001,001)_2 = 1,0010\textcolor{red}{01} \times 2^3 = 1,0010 \times 2^3$$



# Representação de Números Reais no Computador

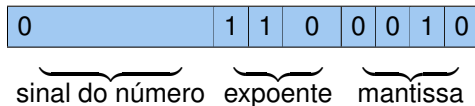
## Exemplo 5:

$$(9,375)_{10} = (1001,011)_2 = 1,0010\textcolor{red}{11} \times 2^3 = 1,0011 \times 2^3$$



## Exemplo 6:

$$(9,125)_{10} = (1001,001)_2 = 1,0010\textcolor{red}{01} \times 2^3 = 1,0010 \times 2^3$$



# Representação de Números Reais no Computador

Vamos ver como ficariam os expoentes da tabela se passarmos a usar um computador que opera com 1 bit para o sinal do número, 5 bits para o expoente e 6 bits para a mantissa.

Por padrão, o expoente 0 recebe a configuração em que o primeiro bit é igual a 0 e os restantes são iguais a 1. Assim, neste exemplo,

A configuração 01111 recebe o valor 0 para o expoente.

Sabemos que 01111 em decimal é 15, pois a configuração seguinte, 10000, vale  $1 \times 2^4 = 16$  em decimal. Logo,  $(01111)_2 = (16)_{10} - 1 = (15)_{10}$ .

Logo, a configuração 01111 recebe o valor  $0 = 15 - 15$  para o expoente.

Como os valores em binário e decimal na tabela são consecutivos e uso a convenção de que 01111 representa o expoente 0, então, para as demais configurações de bits, o valor do expoente será sempre, neste exemplo, o valor em decimal menos 15.

# Representação de Números Reais no Computador

Vamos ver como ficariam os expoentes da tabela se passarmos a usar um computador que opera com 1 bit para o sinal do número, 5 bits para o expoente e 6 bits para a mantissa.

Por padrão, o expoente 0 recebe a configuração em que o primeiro bit é igual a 0 e os restantes são iguais a 1. Assim, neste exemplo,

A configuração 01111 recebe o valor 0 para o expoente.

Sabemos que 01111 em decimal é 15, pois a configuração seguinte, 10000, vale  $1 \times 2^4 = 16$  em decimal. Logo,  $(01111)_2 = (16)_{10} - 1 = (15)_{10}$ .

Logo, a configuração 01111 recebe o valor  $0 = 15 - 15$  para o expoente.

Como os valores em binário e decimal na tabela são consecutivos e uso a convenção de que 01111 representa o expoente 0, então, para as demais configurações de bits, o valor do expoente será sempre, neste exemplo, o valor em decimal menos 15.

# Representação de Números Reais no Computador

Vamos ver como ficariam os expoentes da tabela se passarmos a usar um computador que opera com 1 bit para o sinal do número, 5 bits para o expoente e 6 bits para a mantissa.

Por padrão, o expoente 0 recebe a configuração em que o primeiro bit é igual a 0 e os restantes são iguais a 1. Assim, neste exemplo,

A configuração 01111 recebe o valor 0 para o expoente.

Sabemos que 01111 em decimal é 15, pois a configuração seguinte, 10000, vale  $1 \times 2^4 = 16$  em decimal. Logo,  $(01111)_2 = (16)_{10} - 1 = (15)_{10}$ .

Logo, a configuração 01111 recebe o valor  $0 = 15 - 15$  para o expoente.

Como os valores em binário e decimal na tabela são consecutivos e uso a convenção de que 01111 representa o expoente 0, então, para as demais configurações de bits, o valor do expoente será sempre, neste exemplo, o valor em decimal menos 15.

# Representação de Números Reais no Computador

Vamos ver como ficariam os expoentes da tabela se passarmos a usar um computador que opera com 1 bit para o sinal do número, 5 bits para o expoente e 6 bits para a mantissa.

Por padrão, o expoente 0 recebe a configuração em que o primeiro bit é igual a 0 e os restantes são iguais a 1. Assim, neste exemplo,

A configuração 01111 recebe o valor 0 para o expoente.

Sabemos que 01111 em decimal é 15, pois a configuração seguinte, 10000, vale  $1 \times 2^4 = 16$  em decimal. Logo,  $(01111)_2 = (16)_{10} - 1 = (15)_{10}$ .

Logo, a configuração 01111 recebe o valor  $0 = 15 - 15$  para o expoente.

Como os valores em binário e decimal na tabela são consecutivos e uso a convenção de que 01111 representa o expoente 0, então, para as demais configurações de bits, o valor do expoente será sempre, neste exemplo, o valor em decimal menos 15.



# Representação de Números Reais no Computador

Vamos ver como ficariam os expoentes da tabela se passarmos a usar um computador que opera com 1 bit para o sinal do número, 5 bits para o expoente e 6 bits para a mantissa.

Por padrão, o expoente 0 recebe a configuração em que o primeiro bit é igual a 0 e os restantes são iguais a 1. Assim, neste exemplo,

A configuração 01111 recebe o valor 0 para o expoente.

Sabemos que 01111 em decimal é 15, pois a configuração seguinte, 10000, vale  $1 \times 2^4 = 16$  em decimal. Logo,  $(01111)_2 = (16)_{10} - 1 = (15)_{10}$ .

Logo, a configuração 01111 recebe o valor  $0 = 15 - 15$  para o expoente.

Como os valores em binário e decimal na tabela são consecutivos e uso a convenção de que 01111 representa o expoente 0, então, para as demais configurações de bits, o valor do expoente será sempre, neste exemplo, o valor em decimal menos 15.

# Representação de Números Reais no Computador

Seguindo essa lógica, o maior expoente do computador, que é sempre aquele em que o último bit vale 0 e os anteriores valem 1, fica representado da seguinte maneira:

11110 em decimal:  $1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 30$ .

Logo, a configuração 11110 recebe o valor  $30 - 15 = 15$  para o expoente.

Uma outra maneira mais esperta de obter o valor do expoente para 11110 é saber que a configuração seguinte da tabela vale 11111 e depois na sequência vem 100000, que não está na tabela e vale  $2^5 = 32$  em decimal. Logo, 11111 em decimal vale  $32 - 1 = 31$  e 11110 em decimal vale  $31 - 1 = 30$ . Portanto, a configuração 01111 recebe o expoente  $30 - 15 = 15$ .

O **menor expoente na forma normalizada** é dado pela configuração 00001, que em decimal vale 1. Logo, essa configuração recebe o expoente  $1 - 15 = -14$ .

O **menor expoente na forma desnormalizada** é dado pela configuração 00000, e recebe também o valor  $-14$ .

# Representação de Números Reais no Computador

Seguindo essa lógica, o maior expoente do computador, que é sempre aquele em que o último bit vale 0 e os anteriores valem 1, fica representado da seguinte maneira:

11110 em decimal:  $1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 30$ .

Logo, a configuração 11110 recebe o valor  $30 - 15 = 15$  para o expoente.

Uma outra maneira mais esperta de obter o valor do expoente para 11110 é saber que a configuração seguinte da tabela vale 11111 e depois na sequência vem 100000, que não está na tabela e vale  $2^5 = 32$  em decimal. Logo, 11111 em decimal vale  $32 - 1 = 31$  e 11110 em decimal vale  $31 - 1 = 30$ . Portanto, a configuração 01111 recebe o expoente  $30 - 15 = 15$ .

O **menor expoente na forma normalizada** é dado pela configuração 00001, que em decimal vale 1. Logo, essa configuração recebe o expoente  $1 - 15 = -14$ .

O **menor expoente na forma desnormalizada** é dado pela configuração 00000, e recebe também o valor  $-14$ .

# Representação de Números Reais no Computador

Seguindo essa lógica, o maior expoente do computador, que é sempre aquele em que o último bit vale 0 e os anteriores valem 1, fica representado da seguinte maneira:

$$11110 \text{ em decimal: } 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 30.$$

Logo, a configuração 11110 recebe o valor  $30 - 15 = 15$  para o expoente.

Uma outra maneira mais esperta de obter o valor do expoente para 11110 é saber que a configuração seguinte da tabela vale 11111 e depois na sequência vem 100000, que não está na tabela e vale  $2^5 = 32$  em decimal. Logo, 11111 em decimal vale  $32 - 1 = 31$  e 11110 em decimal vale  $31 - 1 = 30$ . Portanto, a configuração 01111 recebe o expoente  $30 - 15 = 15$ .

O **menor expoente na forma normalizada** é dado pela configuração 00001, que em decimal vale 1. Logo, essa configuração recebe o expoente  $1 - 15 = -14$ .

O **menor expoente na forma desnormalizada** é dado pela configuração 00000, e recebe também o valor  $-14$ .

# Representação de Números Reais no Computador

Seguindo essa lógica, o maior expoente do computador, que é sempre aquele em que o último bit vale 0 e os anteriores valem 1, fica representado da seguinte maneira:

11110 em decimal:  $1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 30$ .

Logo, a configuração 11110 recebe o valor  $30 - 15 = 15$  para o expoente.

Uma outra maneira mais esperta de obter o valor do expoente para 11110 é saber que a configuração seguinte da tabela vale 11111 e depois na sequência vem 100000, que não está na tabela e vale  $2^5 = 32$  em decimal. Logo, 11111 em decimal vale  $32 - 1 = 31$  e 11110 em decimal vale  $31 - 1 = 30$ . Portanto, a configuração 01111 recebe o expoente  $30 - 15 = 15$ .

O **menor expoente na forma normalizada** é dado pela configuração 00001, que em decimal vale 1. Logo, essa configuração recebe o expoente  $1 - 15 = -14$ .

O **menor expoente na forma desnormalizada** é dado pela configuração 00000, e recebe também o valor  $-14$ .

# Representação de Números Reais no Computador

Seguindo essa lógica, o maior expoente do computador, que é sempre aquele em que o último bit vale 0 e os anteriores valem 1, fica representado da seguinte maneira:

11110 em decimal:  $1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 30$ .

Logo, a configuração 11110 recebe o valor  $30 - 15 = 15$  para o expoente.

Uma outra maneira mais esperta de obter o valor do expoente para 11110 é saber que a configuração seguinte da tabela vale 11111 e depois na sequência vem 100000, que não está na tabela e vale  $2^5 = 32$  em decimal. Logo, 11111 em decimal vale  $32 - 1 = 31$  e 11110 em decimal vale  $31 - 1 = 30$ . Portanto, a configuração 01111 recebe o expoente  $30 - 15 = 15$ .

O **menor expoente na forma normalizada** é dado pela configuração 00001, que em decimal vale 1. Logo, essa configuração recebe o expoente  $1 - 15 = -14$ .

O **menor expoente na forma desnormalizada** é dado pela configuração 00000, e recebe também o valor  $-14$ .

# Representação de Números Reais no Computador

Com essas considerações, temos a tabela dos expoentes:

bits	expoente	valor em decimal
00000	Desnormalizado ( $-14$ )	
00001	$-14 = 1 - 15$	1
00010	$-13 = 2 - 15$	2
...	...	...
01110	$-1 = 14 - 15$	14
01111	$0 = 15 - 15$	15
10000	$+1 = 16 - 15$	16
10001	$+2 = 17 - 15$	17
...	...	...
11110	$+15 = 30 - 15$	30
11111	NaN, Inf., Indet.	

**Tabela:** Tabela para os bits do expoente do exemplo

# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.



# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.

# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.

# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.

# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.

# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.

# Representação de Números Reais no Computador

Sem olhar para a tabela, qual seria a configuração de bits para o expoente  $-7$ ?

Sejam:

$E$ : Valor do expoente;

$D$ : Valor em decimal da representação em binário dos bits do expoente.

Vimos das deduções anteriores que:

$$E = D - 15.$$

Se  $E = -7$ , então

$$-7 = D - 15 \Rightarrow D = (8)_{10} = (01000)_2.$$

Portanto, 01000 é a configuração de bits para o expoente  $-7$  neste exemplo.

# IEEE 754

A norma IEEE 754, publicada em 1985, procurou uniformizar a maneira como as diferentes máquinas representam os números em ponto flutuante, bem como devem operá-los.

Essa norma define dois formatos básicos para os números em ponto flutuante:

- Formato simples: 32 bits - Primeiro bit para o sinal do número (0, positivo e 1, negativo), 8 bits para o expoente e 23 bits para a mantissa.
- Formato duplo: 64 bits - Primeiro bit para o sinal do número (0, positivo e 1, negativo), 11 bits para o expoente e 52 bits para a mantissa.

Para maiores informações, leia as referências ao final desta apresentação.

# IEEE 754

A norma IEEE 754, publicada em 1985, procurou uniformizar a maneira como as diferentes máquinas representam os números em ponto flutuante, bem como devem operá-los.

Essa norma define dois formatos básicos para os números em ponto flutuante:

- Formato simples: 32 bits - Primeiro bit para o sinal do número (0, positivo e 1, negativo), 8 bits para o expoente e 23 bits para a mantissa.
- Formato duplo: 64 bits - Primeiro bit para o sinal do número (0, positivo e 1, negativo), 11 bits para o expoente e 52 bits para a mantissa.

Para maiores informações, leia as referências ao final desta apresentação.



# IEEE 754

A norma IEEE 754, publicada em 1985, procurou uniformizar a maneira como as diferentes máquinas representam os números em ponto flutuante, bem como devem operá-los.

Essa norma define dois formatos básicos para os números em ponto flutuante:

- Formato simples: 32 bits - Primeiro bit para o sinal do número (0, positivo e 1, negativo), 8 bits para o expoente e 23 bits para a mantissa.
- Formato duplo: 64 bits - Primeiro bit para o sinal do número (0, positivo e 1, negativo), 11 bits para o expoente e 52 bits para a mantissa.

Para maiores informações, leia as referências ao final desta apresentação.

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Vamos admitir, como exemplo, que o número  $a$  seja na forma normalizada:

$$a = 1,101010110100101 \dots \times 2^c$$

e que  $m = 5$  seja o número de bits da mantissa do computador.

Seja  $\bar{a}$  a aproximação para  $a$  neste computador.

Então,

$\bar{a} = 1,10101 \times 2^c$ , pois houve truncamento (como após o último dígito da mantissa, aparece 0, então descarto os dígitos que vêm depois da mantissa).

No truncamento,  $\bar{a} < a$ .

O erro absoluto ( $E_{\text{abs}}$ ) entre o valor verdadeiro  $a$  e o valor aproximado pela máquina  $\bar{a}$  é dado por:

$$E_{\text{abs}} = a - \bar{a}.$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Vamos admitir, como exemplo, que o número  $a$  seja na forma normalizada:

$$a = 1,101010110100101 \dots \times 2^c$$

e que  $m = 5$  seja o número de bits da mantissa do computador.

Seja  $\bar{a}$  a aproximação para  $a$  neste computador.

Então,

$\bar{a} = 1,10101 \times 2^c$ , pois houve truncamento (como após o último dígito da mantissa, aparece 0, então descarto os dígitos que vêm depois da mantissa).

No truncamento,  $\bar{a} < a$ .

O erro absoluto ( $E_{\text{abs}}$ ) entre o valor verdadeiro  $a$  e o valor aproximado pela máquina  $\bar{a}$  é dado por:

$$E_{\text{abs}} = a - \bar{a}.$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Vamos admitir, como exemplo, que o número  $a$  seja na forma normalizada:

$$a = 1,101010110100101 \dots \times 2^c$$

e que  $m = 5$  seja o número de bits da mantissa do computador.

Seja  $\bar{a}$  a aproximação para  $a$  neste computador.

Então,

$\bar{a} = 1,10101 \times 2^c$ , pois houve truncamento (como após o último dígito da mantissa, aparece 0, então descarto os dígitos que vêm depois da mantissa).

No truncamento,  $\bar{a} < a$ .

O erro absoluto ( $E_{\text{abs}}$ ) entre o valor verdadeiro  $a$  e o valor aproximado pela máquina  $\bar{a}$  é dado por:

$$E_{\text{abs}} = a - \bar{a}.$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Vamos admitir, como exemplo, que o número  $a$  seja na forma normalizada:

$$a = 1,101010110100101 \dots \times 2^c$$

e que  $m = 5$  seja o número de bits da mantissa do computador.

Seja  $\bar{a}$  a aproximação para  $a$  neste computador.

Então,

$\bar{a} = 1,10101 \times 2^c$ , pois houve truncamento (como após o último dígito da mantissa, aparece 0, então descarto os dígitos que vêm depois da mantissa).

No truncamento,  $\bar{a} < a$ .

O erro absoluto ( $E_{\text{abs}}$ ) entre o valor verdadeiro  $a$  e o valor aproximado pela máquina  $\bar{a}$  é dado por:

$$E_{\text{abs}} = a - \bar{a}.$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Vamos admitir, como exemplo, que o número  $a$  seja na forma normalizada:

$$a = 1,101010110100101 \dots \times 2^c$$

e que  $m = 5$  seja o número de bits da mantissa do computador.

Seja  $\bar{a}$  a aproximação para  $a$  neste computador.

Então,

$\bar{a} = 1,10101 \times 2^c$ , pois houve truncamento (como após o último dígito da mantissa, aparece 0, então descarto os dígitos que vêm depois da mantissa).

No truncamento,  $\bar{a} < a$ .

O erro absoluto ( $E_{\text{abs}}$ ) entre o valor verdadeiro  $a$  e o valor aproximado pela máquina  $\bar{a}$  é dado por:

$$E_{\text{abs}} = a - \bar{a}.$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja, vamos fazer a seguinte operação de subtração (a parte destacada em vermelho está fora da mantissa):

$$\begin{array}{r}
 a = 1,10101\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c \\
 - \bar{a} = 1,10101\mathbf{0000000000} \dots \times 2^c \\
 \hline
 E_{\text{abs}} = 0,00000\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c
 \end{array}$$

Então, o erro absoluto é dado por:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{abs}} &= 0,00000\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c = 0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{-5} \times 2^c \\
 &= 0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{c-5}
 \end{aligned}$$

Já o erro relativo ( $E_{\text{rel}}$ ) é dado por:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{rel}} &= \frac{E_{\text{abs}}}{a} = \frac{0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{c-5}}{1,10101\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c} \\
 &= \frac{0,\mathbf{0110100101} \dots}{1,10101\mathbf{0110100101} \dots} \times 2^{-5}
 \end{aligned}$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja, vamos fazer a seguinte operação de subtração (a parte destacada em vermelho está fora da mantissa):

$$\begin{array}{r} a = 1,10101\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c \\ - \bar{a} = 1,10101\mathbf{0000000000} \dots \times 2^c \\ \hline E_{\text{abs}} = 0,00000\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c \end{array}$$

Então, o erro absoluto é dado por:

$$\begin{aligned} E_{\text{abs}} &= 0,00000\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c = 0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{-5} \times 2^c \\ &= 0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{c-5} \end{aligned}$$

Já o erro relativo ( $E_{\text{rel}}$ ) é dado por:

$$\begin{aligned} E_{\text{rel}} &= \frac{E_{\text{abs}}}{a} = \frac{0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{c-5}}{1,10101\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c} \\ &= \frac{0,\mathbf{0110100101} \dots}{1,10101\mathbf{0110100101} \dots} \times 2^{-5} \end{aligned}$$



# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja, vamos fazer a seguinte operação de subtração (a parte destacada em vermelho está fora da mantissa):

$$\begin{array}{r} a = 1,10101\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c \\ - \bar{a} = 1,10101\mathbf{0000000000} \dots \times 2^c \\ \hline E_{\text{abs}} = 0,00000\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c \end{array}$$

Então, o erro absoluto é dado por:

$$\begin{aligned} E_{\text{abs}} &= 0,00000\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c = 0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{-5} \times 2^c \\ &= 0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{c-5} \end{aligned}$$

Já o erro relativo ( $E_{\text{rel}}$ ) é dado por:

$$\begin{aligned} E_{\text{rel}} &= \frac{E_{\text{abs}}}{a} = \frac{0,\mathbf{0110100101} \dots \times 2^{c-5}}{1,10101\mathbf{0110100101} \dots \times 2^c} \\ &= \frac{0,\mathbf{0110100101} \dots}{1,10101\mathbf{0110100101} \dots} \times 2^{-5} \end{aligned}$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Colocando o numerador e o denominador do erro relativo na forma normalizada, temos:

$$E_{\text{rel}} = \frac{0, \textcolor{red}{0110100101} \dots}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-5} = \frac{\textcolor{red}{1, 10100101} \dots \times 2^{-2}}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-5}$$

Portanto,

$$E_{\text{rel}} = \frac{\textcolor{red}{1, 10100101} \dots}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Diante deste resultado, podemos deduzir que o erro relativo máximo é dado por:

$$E_{\text{rel}} = \frac{\text{maior numerador normalizado}}{\text{menor denominador normalizado}} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Logo,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = \frac{\textcolor{red}{1, 11111111} \dots}{1, 0000000000000000 \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5} = \textcolor{red}{1, 11111111} \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Colocando o numerador e o denominador do erro relativo na forma normalizada, temos:

$$E_{\text{rel}} = \frac{0,0110100101 \dots}{1,101010110100101 \dots} \times 2^{-5} = \frac{1,10100101 \dots \times 2^{-2}}{1,101010110100101 \dots} \times 2^{-5}$$

Portanto,

$$E_{\text{rel}} = \frac{1,10100101 \dots}{1,101010110100101 \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Diante deste resultado, podemos deduzir que o erro relativo máximo é dado por:

$$E_{\text{rel}} = \frac{\text{maior numerador normalizado}}{\text{menor denominador normalizado}} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Logo,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = \frac{1,11111111 \dots}{1,0000000000000000 \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5} = 1,11111111 \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Colocando o numerador e o denominador do erro relativo na forma normalizada, temos:

$$E_{\text{rel}} = \frac{0, \textcolor{red}{0110100101} \dots}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-5} = \frac{\textcolor{red}{1, 10100101} \dots \times 2^{-2}}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-5}$$

Portanto,

$$E_{\text{rel}} = \frac{\textcolor{red}{1, 10100101} \dots}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Diante deste resultado, podemos deduzir que o erro relativo máximo é dado por:

$$E_{\text{rel}} = \frac{\text{maior numerador normalizado}}{\text{menor denominador normalizado}} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Logo,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = \frac{\textcolor{red}{1, 11111111} \dots}{1, 00000 \textcolor{red}{00000000} \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5} = \textcolor{red}{1, 11111111} \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Colocando o numerador e o denominador do erro relativo na forma normalizada, temos:

$$E_{\text{rel}} = \frac{0, \textcolor{red}{0110100101} \dots}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-5} = \frac{\textcolor{red}{1, 10100101} \dots \times 2^{-2}}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-5}$$

Portanto,

$$E_{\text{rel}} = \frac{\textcolor{red}{1, 10100101} \dots}{1, 10101 \textcolor{red}{0110100101} \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Diante deste resultado, podemos deduzir que o erro relativo máximo é dado por:

$$E_{\text{rel}} = \frac{\text{maior numerador normalizado}}{\text{menor denominador normalizado}} \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

Logo,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = \frac{\textcolor{red}{1, 11111111} \dots}{1, 00000 \textcolor{red}{0000000000} \dots} \times 2^{-2} \times 2^{-5} = \textcolor{red}{1, 11111111} \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5}$$

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = 1,11111111 \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5} = 0,0111111111 \dots \times 2^{-5}$$

Como  $0,0111111111 \dots < 0,1000000000 \dots = 2^{-1}$ , então

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-5} = 2^{-6} = \frac{1}{2^6} = \frac{1}{64} = 0,015625.$$

Lembre-se de neste exemplo, o número de bits da mantissa é  $m = 5$ .

Logo, podemos deduzir que num computador com  $m$  bits o erro relativo máximo de um número será dado por:

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-m} = 2^{-(m+1)}$$

Esta expressão para o erro máximo só é válida na região normalizada.

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = 1,11111111 \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5} = 0,0111111111 \dots \times 2^{-5}$$

Como  $0,0111111111 \dots < 0,1000000000 \dots = 2^{-1}$ , então

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-5} = 2^{-6} = \frac{1}{2^6} = \frac{1}{64} = 0,015625.$$

Lembre-se de neste exemplo, o número de bits da mantissa é  $m = 5$ .

Logo, podemos deduzir que num computador com  $m$  bits o erro relativo máximo de um número será dado por:

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-m} = 2^{-(m+1)}$$

Esta expressão para o erro máximo só é válida na região normalizada.

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = 1,11111111 \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5} = 0,0111111111 \dots \times 2^{-5}$$

Como  $0,0111111111 \dots < 0,1000000000 \dots = 2^{-1}$ , então

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-5} = 2^{-6} = \frac{1}{2^6} = \frac{1}{64} = 0,015625.$$

Lembre-se de neste exemplo, o número de bits da mantissa é  $m = 5$ .

Logo, podemos deduzir que num computador com  $m$  bits o erro relativo máximo de um número será dado por:

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-m} = 2^{-(m+1)}$$

Esta expressão para o erro máximo só é válida na região normalizada.



# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = 1,11111111 \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5} = 0,0111111111 \dots \times 2^{-5}$$

Como  $0,0111111111 \dots < 0,1000000000 \dots = 2^{-1}$ , então

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-5} = 2^{-6} = \frac{1}{2^6} = \frac{1}{64} = 0,015625.$$

Lembre-se de neste exemplo, o número de bits da mantissa é  $m = 5$ .

Logo, podemos deduzir que num computador com  $m$  bits o erro relativo máximo de um número será dado por:

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-m} = 2^{-(m+1)}$$

Esta expressão para o erro máximo só é válida na região normalizada.

# Erro relativo máximo de um número em ponto flutuante

Ou seja,

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} = 1,11111111 \dots \times 2^{-2} \times 2^{-5} = 0,0111111111 \dots \times 2^{-5}$$

Como  $0,0111111111 \dots < 0,1000000000 \dots = 2^{-1}$ , então

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-5} = 2^{-6} = \frac{1}{2^6} = \frac{1}{64} = 0,015625.$$

Lembre-se de neste exemplo, o número de bits da mantissa é  $m = 5$ .

Logo, podemos deduzir que num computador com  $m$  bits o erro relativo máximo de um número será dado por:

$$(E_{\text{rel}})_{\text{MAX}} < 2^{-1} \times 2^{-m} = 2^{-(m+1)}$$

Esta expressão para o erro máximo só é válida na região normalizada.

# Valor verdadeiro do número armazenado

**Exemplo:** Armazenar 0,8 em um computador que reserva 23 bits para a mantissa (precisão simples).

Vamos converter 0,8 para binário. Como é uma fração, devemos usar multiplicações sucessivas e usar ordem direta das partes inteiras como os dígitos em binário.

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$\dots \Rightarrow (0,8)_{10} = (0,110011001100110011001100\dots)_2 = (0,1100)_2$$

## Valor verdadeiro do número armazenado

**Exemplo:** Armazenar 0,8 em um computador que reserva 23 bits para a mantissa (precisão simples).

Vamos converter 0,8 para binário. Como é uma fração, devemos usar multiplicações sucessivas e usar ordem direta das partes inteiras como os dígitos em binário.

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$\dots \Rightarrow (0,8)_{10} = (0,110011001100110011001100\dots)_2 = (0,1100)_2$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

**Exemplo:** Armazenar 0,8 em um computador que reserva 23 bits para a mantissa (precisão simples).

Vamos converter 0,8 para binário. Como é uma fração, devemos usar multiplicações sucessivas e usar ordem direta das partes inteiras como os dígitos em binário.

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$\dots \Rightarrow (0,8)_{10} = (0,110011001100110011001100\dots)_2 = (0,1100)_2$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

**Exemplo:** Armazenar 0,8 em um computador que reserva 23 bits para a mantissa (precisão simples).

Vamos converter 0,8 para binário. Como é uma fração, devemos usar multiplicações sucessivas e usar ordem direta das partes inteiras como os dígitos em binário.

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$0,8 \times 2 = 1,6$$

$$0,6 \times 2 = 1,2$$

$$0,2 \times 2 = 0,4$$

$$0,4 \times 2 = 0,8$$

$$\dots \Rightarrow (0,8)_{10} = (0,110011001100110011001100\dots)_2 = (0,\overline{1100})_2$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

Qual será o valor verdadeiro armazenado neste computador?

Na forma normalizada, temos:

$$(0,8)_{10} = 1, \underbrace{10011001100110011001100}_{23 \text{ dígitos}} 11001100 \dots \times 2^{-1}$$

$$\approx 1, 10011001100110011001101 \times 2^{-1}$$

Logo, houve arredondamento e o valor verdadeiro  $A$  do número 0,8 representado no computador é

$$A = (1, 10011001100110011001101)_2 \times 2^{-1}$$

Como houve arredondamento,  $A > (0,8)_{10}$ .

# Valor verdadeiro do número armazenado

Qual será o valor verdadeiro armazenado neste computador?

Na forma normalizada, temos:

$$(0,8)_{10} = 1, \underbrace{10011001100110011001100}_{23 \text{ dígitos}} 11001100 \dots \times 2^{-1}$$

$$\approx 1, 10011001100110011001101 \times 2^{-1}$$

Logo, houve arredondamento e o valor verdadeiro  $A$  do número 0,8 representado no computador é

$$A = (1, 10011001100110011001101)_2 \times 2^{-1}$$

Como houve arredondamento,  $A > (0,8)_{10}$ .



# Valor verdadeiro do número armazenado

Qual será o valor verdadeiro armazenado neste computador?

Na forma normalizada, temos:

$$(0,8)_{10} = 1, \underbrace{10011001100110011001100}_{23 \text{ dígitos}} 11001100 \dots \times 2^{-1}$$

$$\approx 1, 10011001100110011001101 \times 2^{-1}$$

Logo, houve arredondamento e o valor verdadeiro  $A$  do número 0,8 representado no computador é

$$A = (1, 10011001100110011001101)_2 \times 2^{-1}$$

Como houve arredondamento,  $A > (0,8)_{10}$ .

# Valor verdadeiro do número armazenado

Qual será o valor verdadeiro armazenado neste computador?

Na forma normalizada, temos:

$$(0,8)_{10} = 1, \underbrace{10011001100110011001100}_{23 \text{ dígitos}} 11001100 \dots \times 2^{-1}$$

$$\approx 1, 10011001100110011001101 \times 2^{-1}$$

Logo, houve arredondamento e o valor verdadeiro  $A$  do número 0,8 representado no computador é

$$A = (1, 10011001100110011001101)_2 \times 2^{-1}$$

Como houve arredondamento,  $A > (0,8)_{10}$ .

## Valor verdadeiro do número armazenado

Então, subtraindo 0,8 de  $A$ , temos:

$$A = 1,10011001100110011001101 \times 2^{-1}$$

$$-(0, 8)_{10} = 1, \textcolor{red}{1001100110011001100110}011001100\dots \times 2^{-1}$$

## Valor verdadeiro do número armazenado

Então, subtraindo 0,8 de  $A$ , temos:

$$A = 1,10011001100110011001101 \times 2^{-1}$$

$$- (0, 8)_{10} = 1, 10011001100110011001100110011001100 \dots \times 2^{-1}$$

Ao retirar os dígitos mais à esquerda de  $A$  e  $(0, 8)_{10}$  que são iguais, fazer essa conta é equivalente a fazer a conta a seguir:

$$0, \underbrace{00000000000000000000}_{\text{28 zeros}} 1 \times 2^{-1}$$

$$- 0,000000000000000000000000011001100 \dots \times 2^{-1}$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

Ou seja,

$$1,00000000 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ - \underline{0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1}}$$

Assim,

$$A - (0,8)_{10} = 1 \times 2^{-23} \times 2^{-1} - 0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1}$$

Lembre-se de que vimos lá no início que  $(0,8)_{10} = (0,11001100 \dots)_2$ .  
Então,

$$A - (0,8)_{10} = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - (0,8)_{10}) \times 2^{-24} = (0,2)_{10} \times 2^{-24} = (1,19209 \dots)_{10} \times 10^{-8}.$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

Ou seja,

$$1,00000000 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ - \underline{0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1}}$$

Assim,

$$A - (0,8)_{10} = 1 \times 2^{-23} \times 2^{-1} - 0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1}$$

Lembre-se de que vimos lá no início que  $(0,8)_{10} = (0,11001100 \dots)_2$ .  
Então,

$$A - (0,8)_{10} = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - (0,8)_{10}) \times 2^{-24} = (0,2)_{10} \times 2^{-24} = (1,19209 \dots)_{10} \times 10^{-8}.$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

Ou seja,

$$1,00000000 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ - \underline{0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1}}$$

Assim,

$$A - (0,8)_{10} = 1 \times 2^{-23} \times 2^{-1} - 0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1}$$

Lembre-se de que vimos lá no início que  $(0,8)_{10} = (0,11001100 \dots)_2$ .

Então,

$$A - (0,8)_{10} = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - (0,8)_{10}) \times 2^{-24} = (0,2)_{10} \times 2^{-24} = (1,19209 \dots)_{10} \times 10^{-8}.$$

# Valor verdadeiro do número armazenado

Ou seja,

$$1,00000000 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ - \underline{0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1}}$$

Assim,

$$A - (0,8)_{10} = 1 \times 2^{-23} \times 2^{-1} - 0,11001100 \dots \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1}$$

Lembre-se de que vimos lá no início que  $(0,8)_{10} = (0,11001100 \dots)_2$ .  
Então,

$$A - (0,8)_{10} = (1 - 0,11001100 \dots) \times 2^{-23} \times 2^{-1} \\ = (1 - (0,8)_{10}) \times 2^{-24} = (0,2)_{10} \times 2^{-24} = (1,19209 \dots)_{10} \times 10^{-8}.$$



# Valor verdadeiro do número armazenado

Logo, o valor verdadeiro armazenado neste computador para representar  $(0,8)_{10}$  é

$$A = (0,8)_{10} + (1,19209\dots)_{10} \times 10^{-8} = 0,8000000119209\dots$$

Ou seja, um valor ligeiramente maior que 0,8.

**Exercício:** Analogamente ao que foi feito no exemplo anterior, ache o valor verdadeiro de  $(1,8)_{10}$  armazenado neste computador.

# Valor verdadeiro do número armazenado

Logo, o valor verdadeiro armazenado neste computador para representar  $(0,8)_{10}$  é

$$A = (0,8)_{10} + (1,19209\dots)_{10} \times 10^{-8} = 0,8000000119209\dots$$

Ou seja, um valor ligeiramente maior que 0,8.

**Exercício:** Analogamente ao que foi feito no exemplo anterior, ache o valor verdadeiro de  $(1,8)_{10}$  armazenado neste computador.

# Valor verdadeiro do número armazenado

Logo, o valor verdadeiro armazenado neste computador para representar  $(0,8)_{10}$  é

$$A = (0,8)_{10} + (1,19209\dots)_{10} \times 10^{-8} = 0,8000000119209\dots$$

Ou seja, um valor ligeiramente maior que 0,8.

**Exercício:** Analogamente ao que foi feito no exemplo anterior, ache o valor verdadeiro de  $(1,8)_{10}$  armazenado neste computador.



Oliveira, R. **Capítulo 2 - Representação binária de números inteiros e reais** - Site: [www.raymundodeoliveira.eng.br/binario.html](http://www.raymundodeoliveira.eng.br/binario.html)



**Representação de ponto flutuante IEEE** - Site: <https://learn.microsoft.com/pt-br/cpp/build/ieee-floating-point-representation?view=msvc-170>