


# Projeto e Análise de Algoritmos

## Aula 03 – Técnicas de Projeto de Algoritmos (Divisão e Conquista)

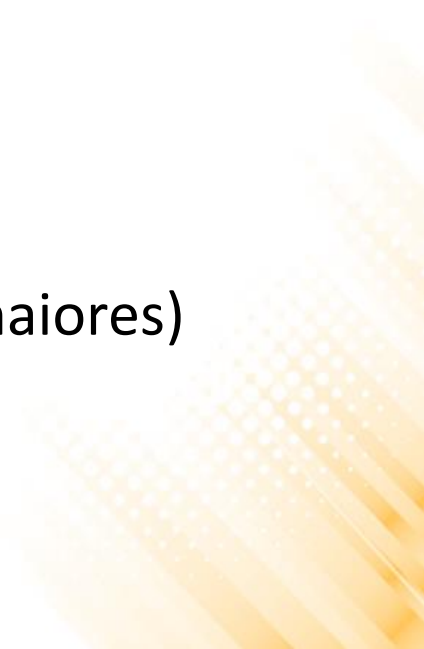
Edirlei Soares de Lima  
<edirlei@iprj.uerj.br>

# Estratégias de Projeto de Algoritmos

- **Força Bruta (Brute Force)**
  - **Dividir e Conquistar (Divide and Conquer)**
  - Diminuir e Conquistar (Decrease and Conquer)
  - Transformar e Conquistar (Transform and Conquer)
  - Compromisso Tempo–Espaço (Space and Time Tradeoffs)
  - **Estratégia Gulosa (Greedy)**
  - **Programação Dinâmica (Dynamic Programming)**
  - Voltando Atrás (Backtracking)
  - Ramificar e Limitar (Branch and Bound)
  - Algoritmos Aproximados
- 

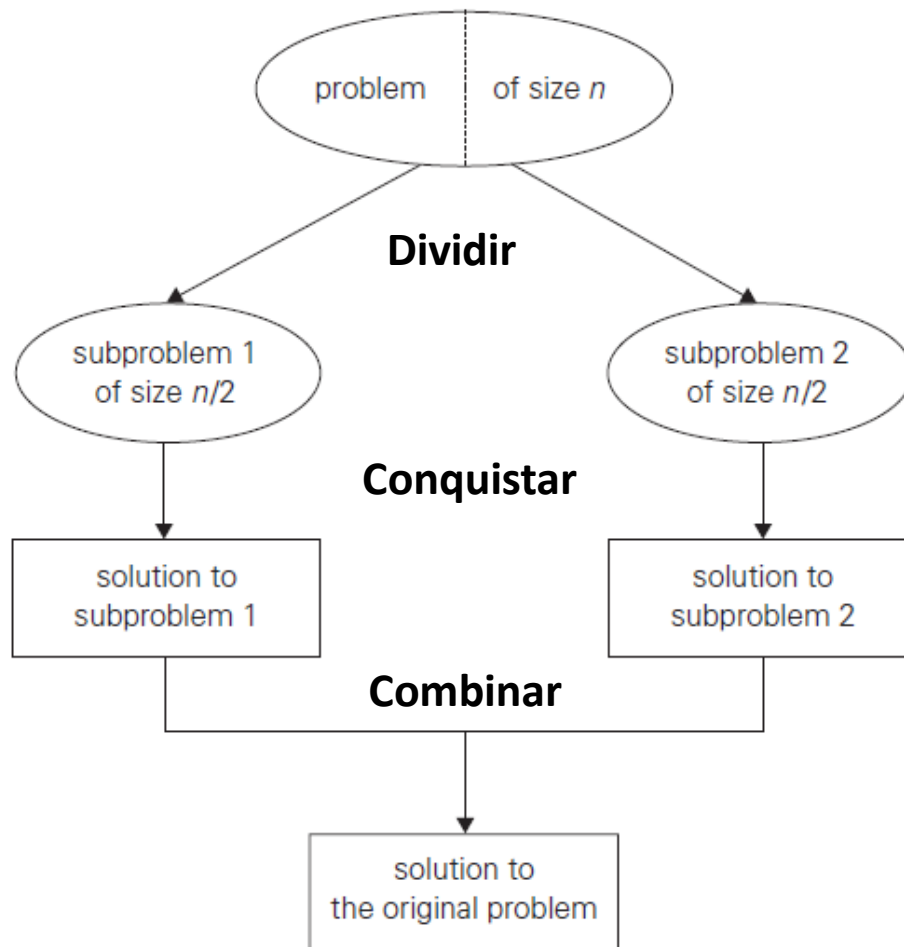
# Divisão e Conquista

- **Ideia geral:**

1. Dividir a instância do problema em duas ou mais instâncias menores;
  2. Resolver as instâncias menores (geralmente recursivamente);
  3. Obter a solução para as instâncias originais (maiores) através da combinação destas soluções.
- 

# Divisão e Conquista

- O paradigma de dividir e conquistar envolve 3 passos:

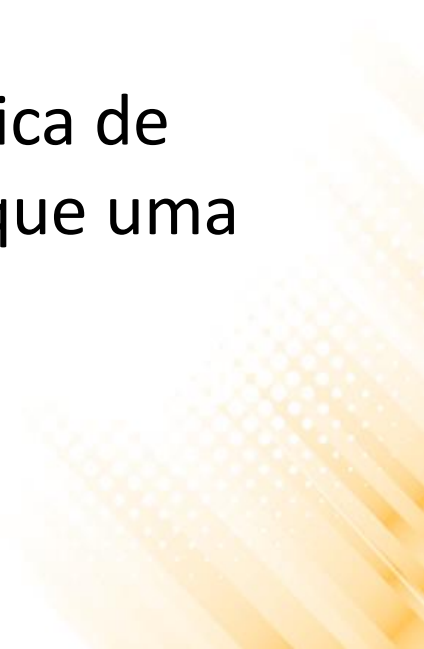


# Divisão e Conquista

- **Exemplo:** calcular a soma de  $n$  números  $a_0 + \dots + a_{n-1}$
- Se  $n > 1$ , podemos dividir o problema em duas instâncias do mesmo problema:
  - Soma dos primeiros  $\lfloor n/2 \rfloor$  números;
  - Soma dos  $\lfloor n/2 \rfloor$  números restantes;
- Uma vez estas duas somas computadas, adicionamos seus valores para obter o resultado final:

$$a_0 + \dots + a_{n-1} = (a_0 + \dots + a_{\lfloor n/2 \rfloor - 1}) + (a_{\lfloor n/2 \rfloor} + \dots + a_{n-1})$$

# Divisão e Conquista

- Esta é uma maneira eficiente de calcular a soma de  $n$  números?
  - É mais eficiente do que uma adição força bruta?
  - Nem todos os algoritmos baseados na técnica de dividir e conquistar são mais eficientes do que uma solução força bruta.
- 

# Divisão e Conquista

- Em geral, o tempo gasto na execução das três etapas do algoritmo dividir e conquistar, é menor do que a resolução por outros métodos.
- A estratégia dividir e conquistar produz alguns dos **algoritmos mais importantes e eficientes** da área da computação.
- Importante: a estratégia dividir e conquistar pode ser facilmente adaptada a **computação paralela**.

# Exemplo: Multiplicação de Inteiros Grandes

- **Problema:** realizar a multiplicação de inteiros grandes (da ordem de 100 dígitos decimais).
  - Ex:  $358712253797428009 \times 153461234908764388 = ?$

## Multiplicação Tradicional:

$$\begin{array}{r} 9999 \quad u \\ 7777 \quad v \\ \hline 69993 \\ 69993 \\ 69993 \\ 69993 \\ \hline 77762223 \quad u \times v \end{array}$$

## Algoritmo de Força Bruta:

- multiplicação dígito a dígito;
- soma dígito a dígito;

Complexidade:  $O(n^2 + n) = \mathbf{O(n^2)}$



# Exemplo: Multiplicação de Inteiros Grandes

- **Problema:** realizar a multiplicação de inteiros grandes (da ordem de 100 dígitos decimais).
  - Outra forma de multiplicar números grandes?

## Passo 1 - Multiplicação dos Grandes

$$A = x_1 \times y_1 \quad A = 12 \times 56 = 672$$

## Passo 2 - Multiplicação dos Pequenos

$$B = x_2 \times y_2 \quad B = 34 \times 78 = 2652$$

## Passo 3 - Soma os dois grupos de x

$$C = x_1 + x_2 \quad C = 12 + 34 = 46$$

## Passo 4 - Soma os dois grupos de y

$$D = y_1 + y_2 \quad D = 56 + 78 = 134$$

## Passo 5 - Multiplique as somas dos grupos

$$E = C \times D \quad E = 46 \times 134 = 6164$$

	$x_1$	$x_2$
x	12	34
y	56	78
	$y_1$	$y_2$

# Exemplo: Multiplicação de Inteiros Grandes

- **Problema:** realizar a multiplicação de inteiros grandes (da ordem de 100 dígitos decimais).
  - Outra forma de multiplicar números grandes?

**Passo 6 - Subtraia o produto da soma dos dois grupos (E), o produto dos grandes (A) e o produto dos pequenos (B)**

$$F = E - A - B \quad F = 6164 - 672 - 2652 = 2840$$

**Passo 7 - Shift do produto dos grandes**

$$G = A \times 10^{2m} \quad G = 672 \times 10^{2 \times 2} = 6720000$$

**Passo 8 - Shift do resultado das subtrações**

$$H = F \times 10^m \quad H = 2840 \times 10^2 = 284000$$

**Passo 9 - Soma Final**

$$I = G + B + H \quad I = 6720000 + 2652 + 284000$$

	$X_1$	$X_2$
x	12	34
y	56	78
	$Y_1$	$Y_2$

# Exemplo: Multiplicação de Inteiros Grandes

- Algoritmo de Karatsuba

```
1. KARATSUBA(u, v, n)
2.   se n < 3 então
3.     retorne u × v
4.   senão
5.     m ← ⌊n/2⌋
6.     a ← ⌊u/10m⌋
7.     b ← u mod 10m
8.     c ← ⌊v/10m⌋
9.     d ← v mod 10m
10.    ac ← KARATSUBA(a, c, m)
11.    bd ← KARATSUBA(b, d, m)
12.    y ← KARATSUBA(a + b, c + d, m + 1)
13.    x ← ac × 102m + (y - ac - bd) × 10m + bd
14.    retorne x
```

$$O(n^{\log_2 3}) = O(n^{1.585})$$

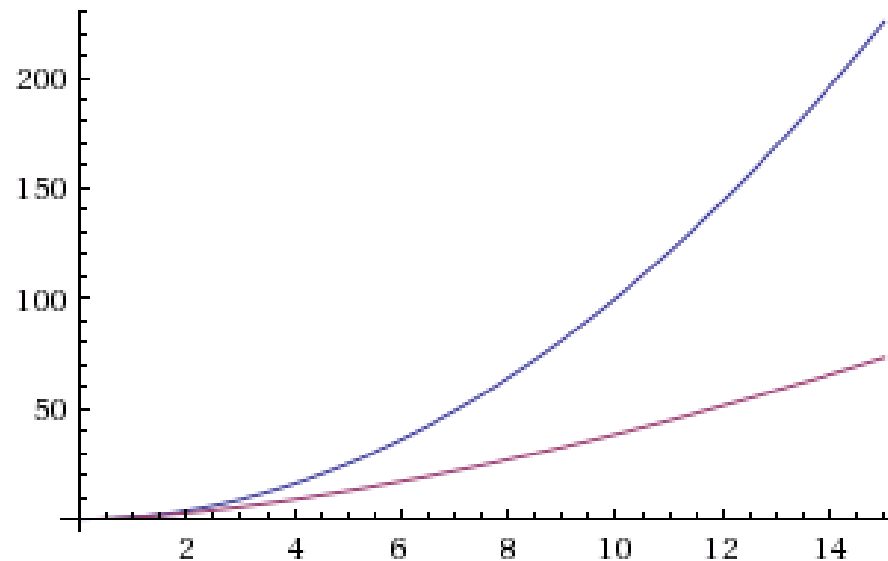
# Exemplo: Multiplicação de Inteiros Grandes

- Multiplicação Tradicional:  $O(n^2)$
- Algoritmo de Karatsuba:  $O(n^{\log_2 3})$

Wolfram Alpha:

```
plot n^2 from n=0 to 15, n ^ log base 2 of 3 from n=0 to 15
```

Plot




# Divisão e Conquista

- Outros algoritmos importantes baseados em divisão e conquista que veremos ao longo do curso:
  - Merge Sort
  - Quick Sort



# Quando Utilizar Divisão e Conquista?

- Existem três condições que indicam que a estratégia de divisão e conquista pode ser utilizada com sucesso:
    - Deve ser possível **decompor** uma instância em sub-instâncias.
    - A **combinação** dos resultados dever ser eficiente (trivial se possível).
    - As sub-instâncias devem ser mais ou menos do **mesmo tamanho**.
- 

# Comentários sobre a Divisão e Conquista

- Muitos algoritmos eficientes são baseados nesta técnica.
  - Contudo, ela pode ser inaplicável e inferior a soluções algorítmicas mais simples.
- Outras estratégias semelhantes:
  - Diminuir e Conquistar (Decrease and Conquer)
  - Transformar e Conquistar (Transform and Conquer)

# Comentários sobre a Divisão e Conquista

- **Vantagens:**
  - Pode gerar algoritmos eficientes com forte tendência a complexidade logarítmica;
  - Facilmente paralelizável;
- **Desvantagens:**
  - Geralmente são algoritmos recursivos (problema de estouro de pilha);
  - Repetição de sub-problemas;



# Exercícios

## **Lista de Exercícios 03 – Divisão e Conquista**

<http://www.inf.puc-rio.br/~elima/paa/>



# Leitura Complementar

- Levitin. **Introduction to the Design and Analysis of Algorithms**, 3rd Edition, 2011.
- **Capítulo 5: Divide-and-Conquer**

