

# Árvores-B: Inserção

Profa. Dra. Cristina Dutra de Aguiar Ciferri

---

# Árvore-B

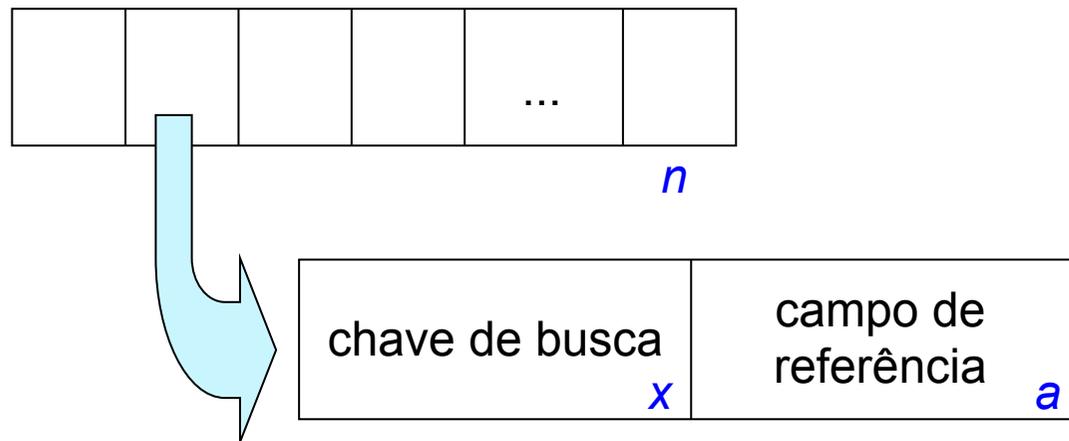
- Método genérico para o armazenamento e a recuperação de dados
    - voltado para arquivos volumosos
    - proporciona rápido acesso aos dados
    - possui custo mínimo de *overhead*
  - Referência
    - Bayer, R.; McCreight, E. *Organization and Maintenance of Large Ordered Indexes.*
    - Boing Corporation, 1972.
-

# Sistemas de Banco de Dados

- 1979
    - árvore-B é, de fato, a organização padrão para indexação
  - Atualmente
    - amplamente utilizada
    - existem variantes
      - árvore-B<sup>+</sup>
      - árvore-B<sup>\*</sup>
      - árvore-B paralela
-

# Características Gerais

- Organizar e manter um índice para um arquivo de acesso aleatório altamente dinâmico
- Índice
  - $n$  elementos  $(x,a)$  de tamanho fixo



# Características Gerais

- Índice
  - extremamente volumoso
- *Buffer-pool* pequeno
  - apenas uma parcela do índice pode ser carregada em memória principal
  - operações baseadas em disco
- Desempenho
  - proporcional a  $\log_K^I$  *ou melhor*

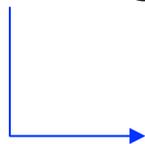
- I: tamanho do índice
- K: tamanho da página de disco

# Árvore B

- Características
    - balanceada
    - *bottom-up* para a criação (em disco)
      - nós folhas → nó raiz
  - Inovação
    - não existe a necessidade de se construir a árvore a partir do nó raiz, como é feito pelas árvores em memória principal e pelas árvores anteriormente projetadas para disco
-

# Construção *Bottom-Up*

- Consequências
  - chaves “erradas” não são mais alocadas no nó raiz
    - elimina as questões em aberto de *chaves separadoras* e de *chaves extremas*
  - não é necessário tratar o problema de desbalanceamento usando algoritmos de reorganização da árvore



na árvore-B, as chaves na raiz da árvore emergem naturalmente

---

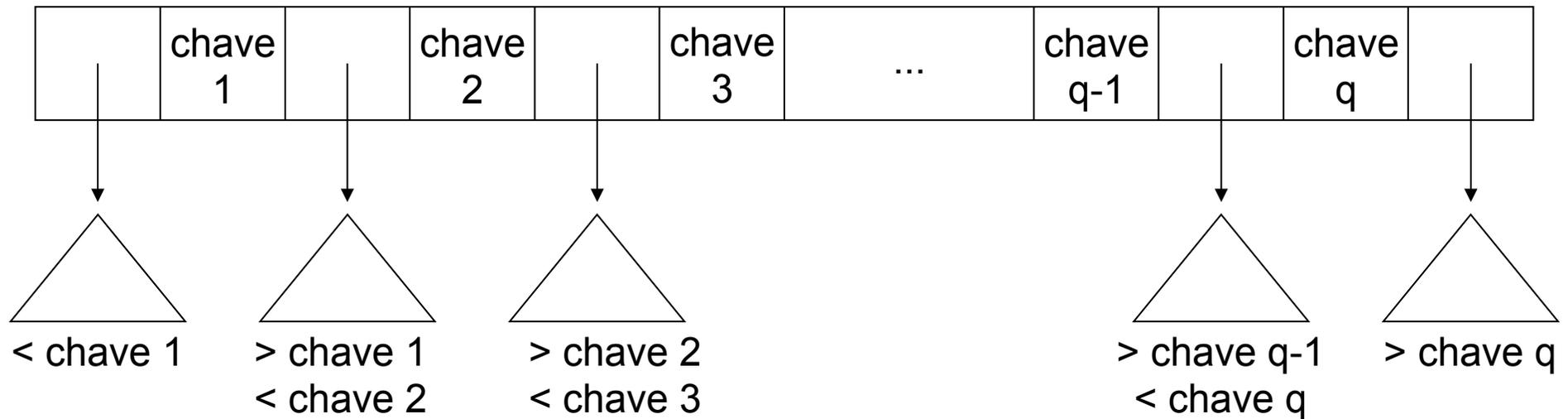
# Características

- Nó (= página de disco)
    - sequência ordenada de chaves
    - conjunto de ponteiros
      - número de ponteiros = número de chaves + 1
    - não há uma árvore explícita dentro de uma página (ou nó da árvore)
-

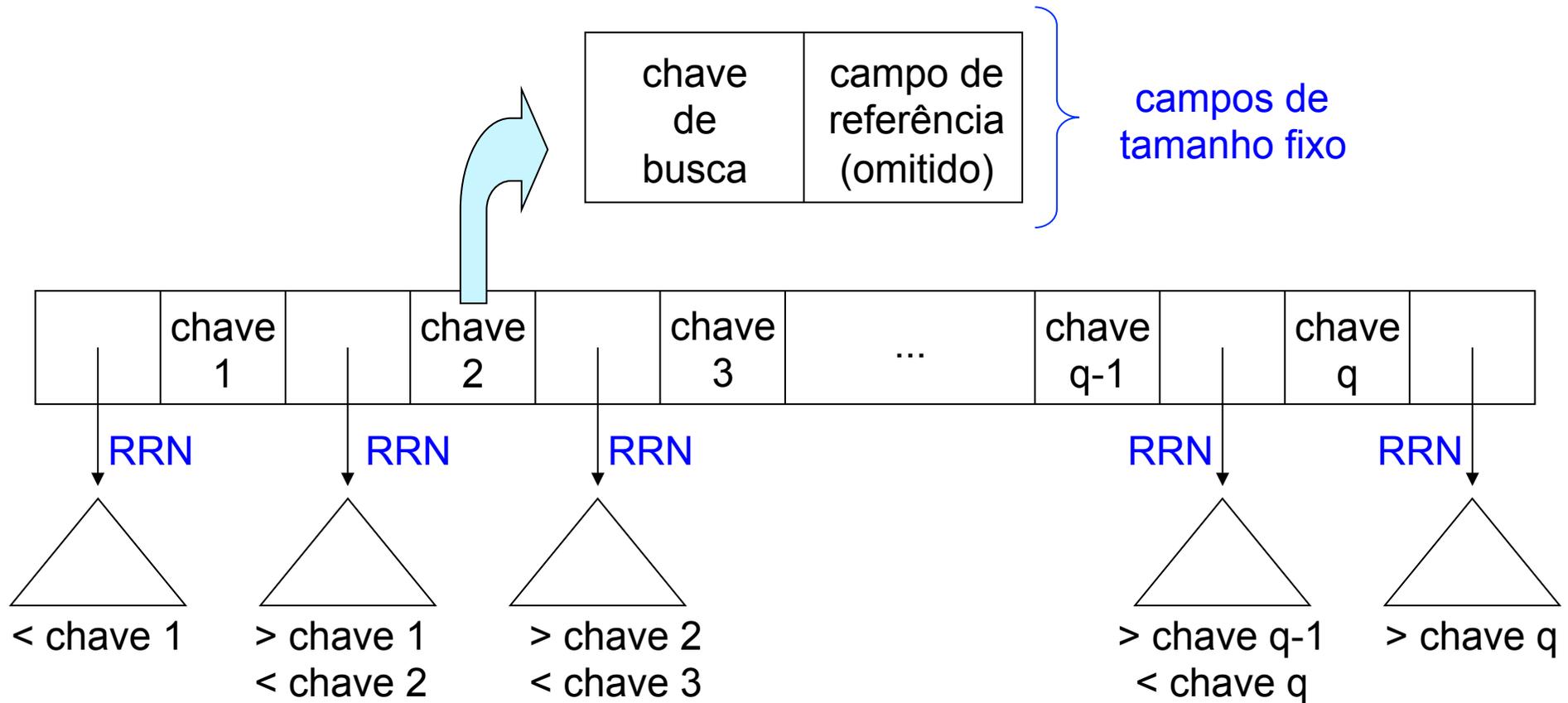
# Características

- Ordem
    - número máximo de ponteiros que pode ser armazenado em um nó
    - exemplo: árvore-B de ordem 8
      - máximo de 7 chaves e 8 ponteiros
  - Observações
    - número máximo de ponteiros é igual ao número máximo de descendentes de um nó
    - nós folhas não possuem filhos, e seus ponteiros são nulos
-

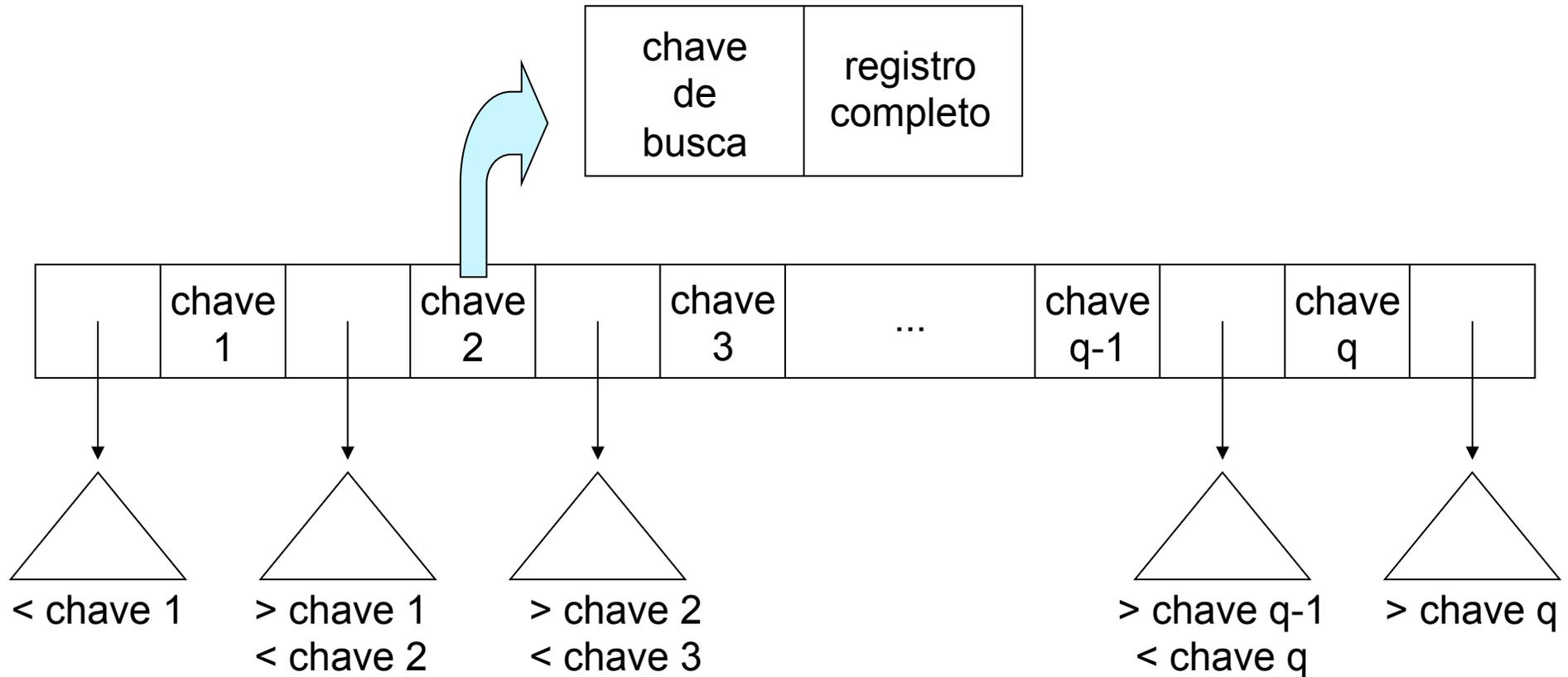
# Estrutura Lógica de um Nó



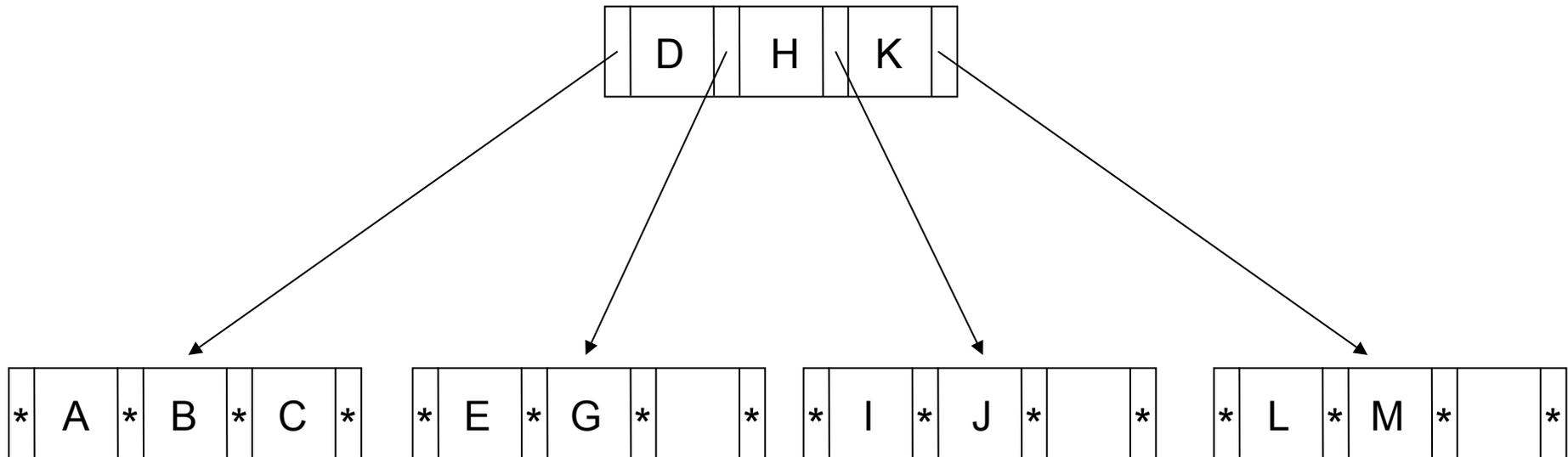
# Estrutura Lógica de um Nó



# Estrutura Lógica de um Nó



# Exemplo



# Inserção de Dados (Chave)

- Característica
    - sempre realizada nos nós folhas
  - Situações a serem analisadas
    - *árvore vazia* – situação inicial
    - *overflow no nó raiz* – demais inserções
    - *inserção nos nós folhas* – preenchimento dos nós folhas
-

# Inserção: Situação Inicial

- Criação e preenchimento do nó
    - primeira chave: criação do nó raiz
    - demais chaves: inserção até a capacidade limite do nó
  - Exemplo
    - árvore-B de ordem 8
    - chaves: letras do alfabeto
    - situação inicial: árvore vazia
-

# Inserção: Situação Inicial

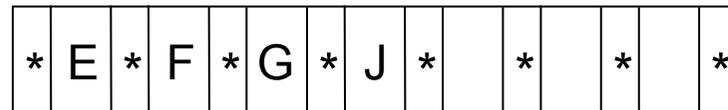
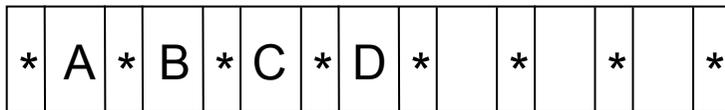
- Chaves B C G E F D A
  - inseridas desordenadamente
  - mantidas ordenadas no nó
- Ponteiros (\*)
  - nós folhas: -1 ou fim de lista (NIL)
  - nós internos: RRN do nó filho ou -1
- Nó raiz (= nó folha)

*	A	*	B	*	C	*	D	*	E	*	F	*	G	*
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

---

# Inserção: *Overflow* Nó Raiz

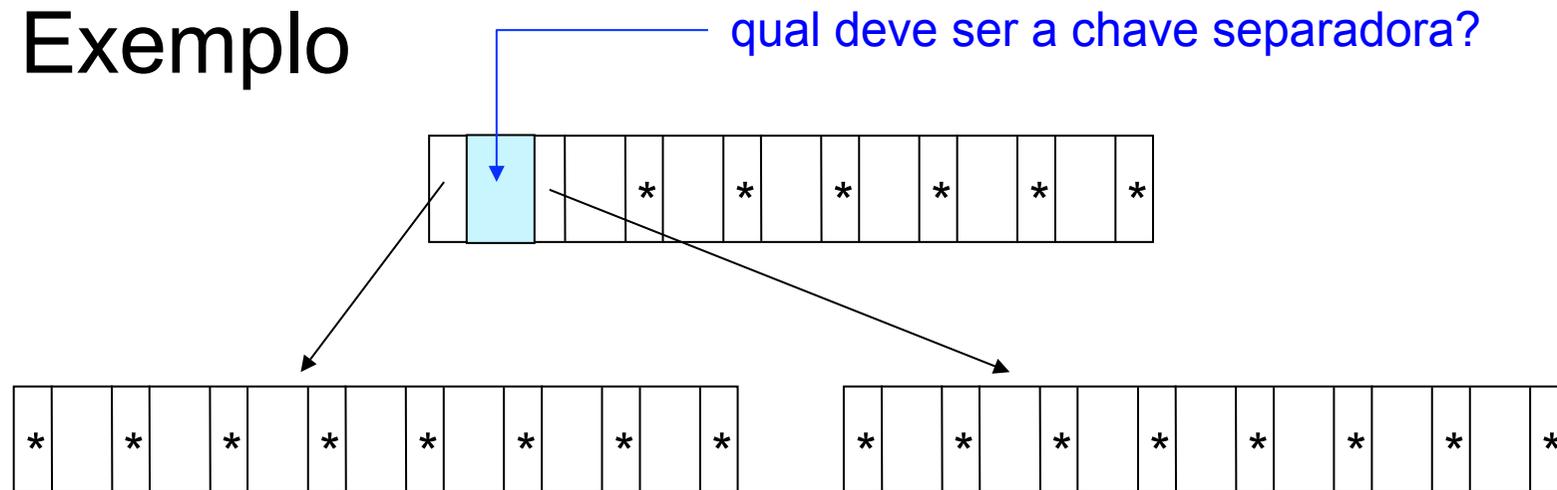
- Passo 1 – particionamento do nó (*split*)
  - nó original → nó original + novo nó
    - *split* 1-to-2
  - as chaves são **distribuídas uniformemente** nos dois nós
    - chaves do nó original + nova chave
- Exemplo: inserção de J



# Inserção: *Overflow* Nó Raiz

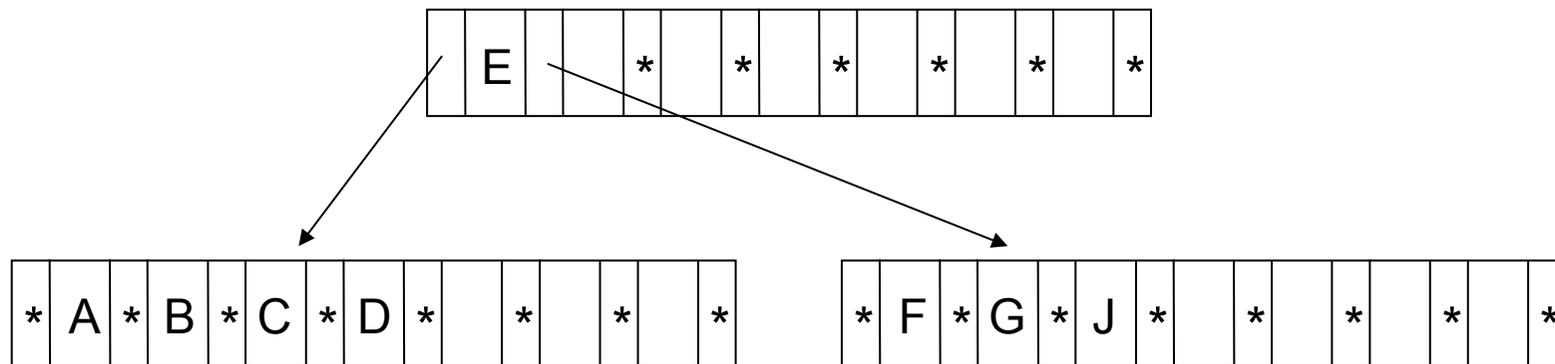
- Passo 2 – criação de uma nova raiz
  - a existência de um nível mais alto na árvore permite a escolha das folhas durante a pesquisa

- Exemplo



# Inserção: *Overflow* Nó Raiz

- Passo 3 – promoção de chave (*promotion*)
  - a primeira chave do novo nó resultante do particionamento é promovida para o nó raiz
- Exemplo



# Inserção: Nós Folhas

- Passo 1 – pesquisa
  - a árvore é percorrida até encontrar o nó folha no qual a nova chave será inserida
- Passo 2 – inserção em nó com espaço
  - ordenação da chave após a inserção
  - alteração dos valores dos campos de referência

nó folha em  
memória principal

---

# Inserção: Nós Folhas

- Passo 2 – inserção em nó cheio
    - particionamento
      - criação de um novo nó  
(nó original → nó original + novo nó)
      - distribuição uniforme das chaves nos dois nós
    - promoção
      - escolha da primeira chave do novo nó como chave separadora no nó pai
      - ajuste do nó pai para apontar para o novo nó
      - propagação de *overflow*
-

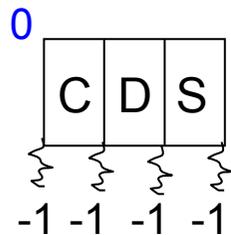
# Exemplo

- Insira as seguintes chaves em um índice árvore-B
    - C S D T A M P I B W N G U R K E H O L J Y  
Q Z F X V
  - Ordem da árvore-B: 4
    - em cada nó (página de disco)
      - número de chaves: 3
      - número de ponteiros: 4
-

# C S D T A M P I B W N G U R K ...

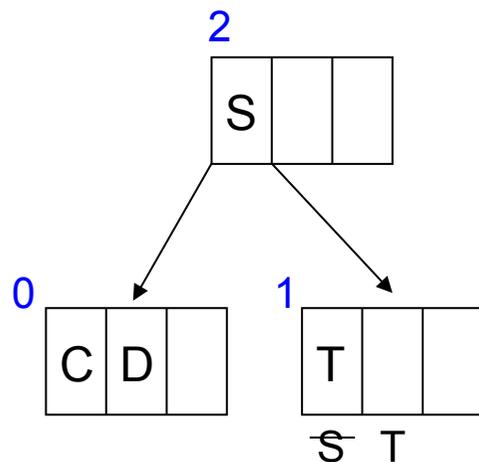
- Passo 1 – inserção de C, S, D
  - criação do nó raiz

- C
- C S
- C D S



# C S D T A M P I B W N G U R K ...

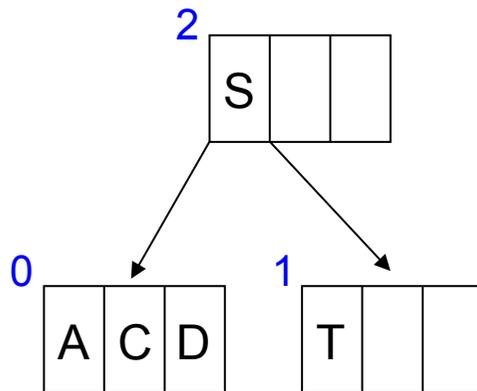
- Passo 2 – inserção de T  
– nó raiz cheio



- particionamento do nó
- criação de uma nova raiz
- promoção de S

C S D T A M P I B W N G U R K ...

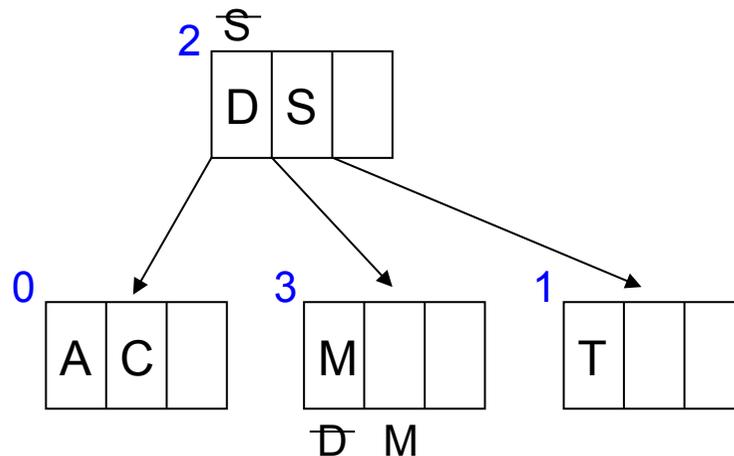
- Passo 3 – inserção de A  
– nó folha com espaço



# C S D T A M P I B W N G U R K ...

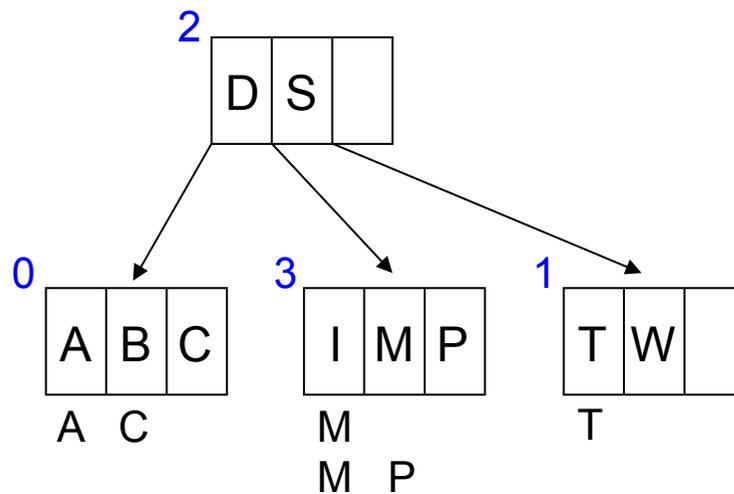
- Passo 4 – inserção de M
  - nó folha 0 cheio

- particionamento do nó
- promoção de D



# C S D T A M P I B W N G U R K ...

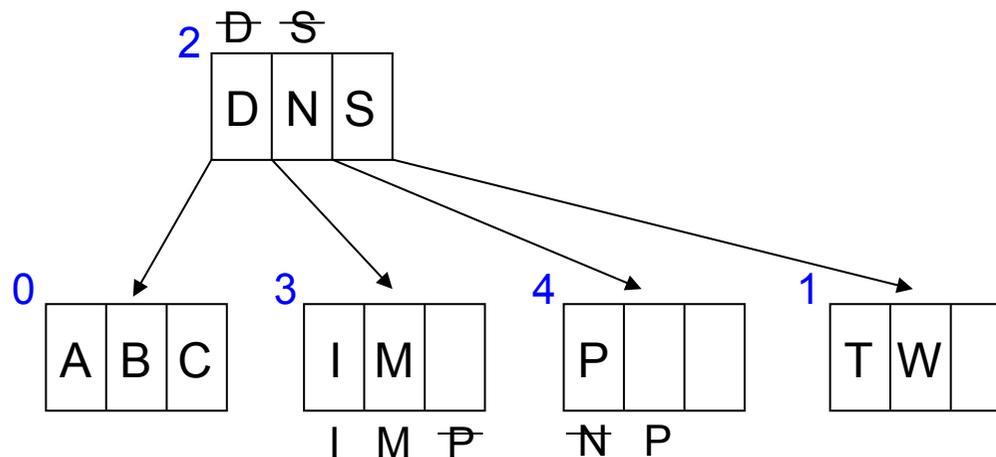
- Passo 5 – inserção de P, I, B, W  
– nós folhas com espaço



# C S D T A M P I B W N G U R K ...

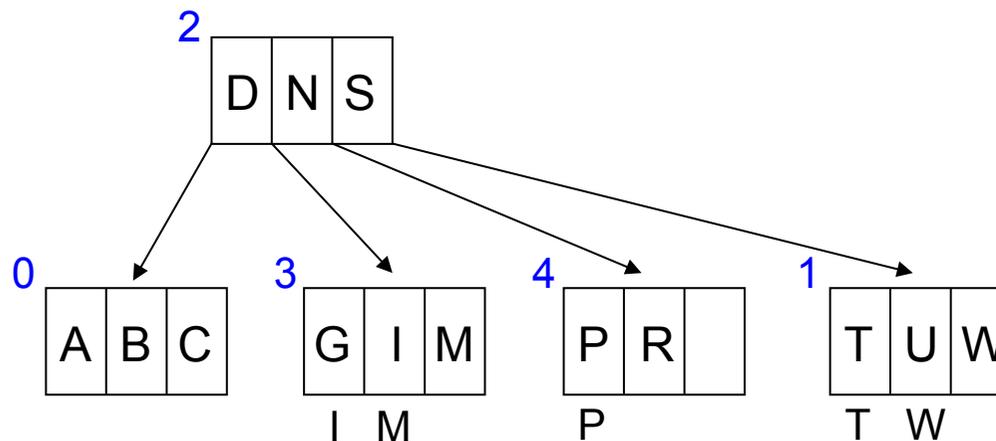
- Passo 6 – inserção de N
  - nó folha 3 cheio

- particionamento do nó
- promoção de N



# C S D T A M P I B W N G U R K ...

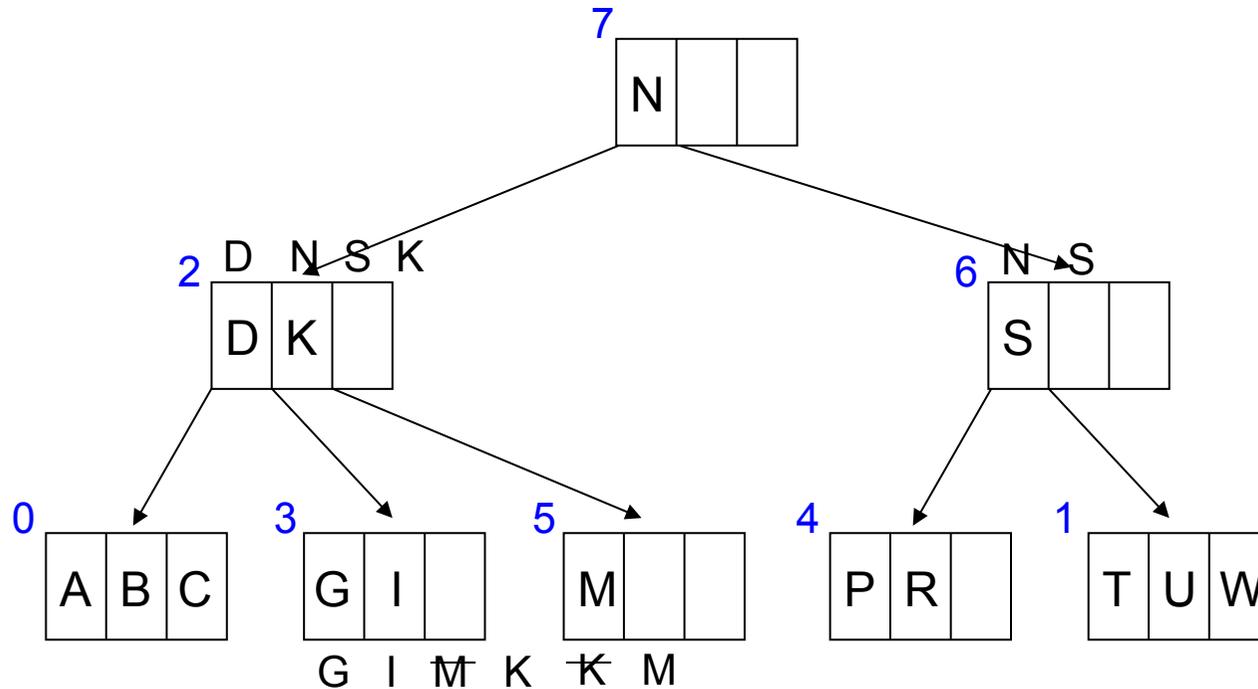
- Passo 7 – inserção de G, U, R  
– nós folhas com espaço



# C S D T A M P I B W N G U R K ...

- Passo 8 – inserção de K  
– nó folha 3 cheio

- particionamento do nó 3
- promoção de K
- particionamento do nó 2
- promoção de N



... E H O L J Y Q Z F X V

- Finalizar a construção da árvore



# Exercícios

- Na árvore-B do exemplo anterior, insira a chave \$, sendo que  $\$ < A$ .
  - Insira as seguintes chaves em um índice árvore-B
    - C S D T A M P I B W N G U R K E H O L J Y  
Q Z F X V
    - diferentemente do exemplo anterior, escolha o último elemento do primeiro nó para promoção durante o particionamento do nó.
-