Indexação

Lubia Vinhas

Indexação

Métodos de acesso são os procedimentos empregados pelo gerenciador de banco de dados com o objetivo de acelerar a localização e a recuperação de algum dado

Índices são estruturas de dados que ajudam a melhorar a velocidade de execução de operações de consulta em uma tabela de um banco de dados

- custo do uso de índices é o tempo de escrita e o gasto em armazenamento
- Existem diferentes tipos de índices, cada qual adequado a um tipo de atributo ou situação
- Em geral a criação de índices é opcional, ficando a cargo do administrador do banco de dados

Busca Sequencial

Quais são as informações referentes ao aluno de matrícula **100203 ?**

	Tabela: Alunos			
Nº Reg	Matricula	Nome	Telefone	Data Matrícula
1	9765421	Gilberto	11-2345	1969
2	8763524	Antônio	12-3456	2000
	1000203	Maria	10-0987	2004
	6827265	José	08-9865	2005
5	2039457	João	23-8754	2002
6	1000204	Eduardo	23-5677	1998
7	8888823	Ana	55-5676	1997
8	5678999	Carolina	58-5676	1943
...	...	...	...	
100000	1243547	Cássia	56-5676	2000

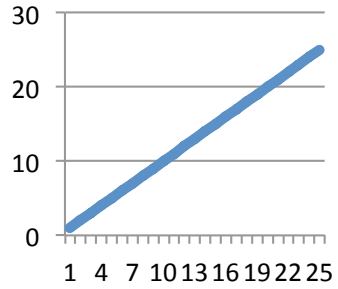
Busca sequencial: 3 comparações

Busca sequencial

Quais são as informações referentes ao aluno de matrícula **1243547** ?

	Tabela: Alunos			
Nº Reg	Matricula	Nome	Telefone	Data Matrícula
1	9765421	Gilberto	11-2345	1969
2	8763524	Antônio	12-3456	2000
3	1000203	Maria	10-0987	2004
4	6827265	José	08-9865	2005
5	2039457	João	23-8754	2002
6	1000204	Eduardo	23-5677	1998
7	8888823	Ana	55-5676	1997
8	5678999	Carolina	58-5676	1943
...	...	...	...	
100000	1243547	Cássia	56-5676	2000

Busca sequencial: 100000 de comparações



Complexidade linear O(n)

Métodos de acesso

Em geral, uma consulta envolve apenas uma pequena parcela do BD

Percorrer todo o BD procurando pelos dados relevantes para a consulta é em geral muito ineficiente

O método de acesso estabelece um plano de execução para a consulta

Exemplo de índice (PostgreSQL)

```
CREATE TABLE test1 (
    id integer,
    content varchar
);

SELECT content FROM test1 WHERE id = constant;
```

```
CREATE INDEX test1_id_index ON test1 (id);
```

```
DROP INDEX test1_id_index;
```

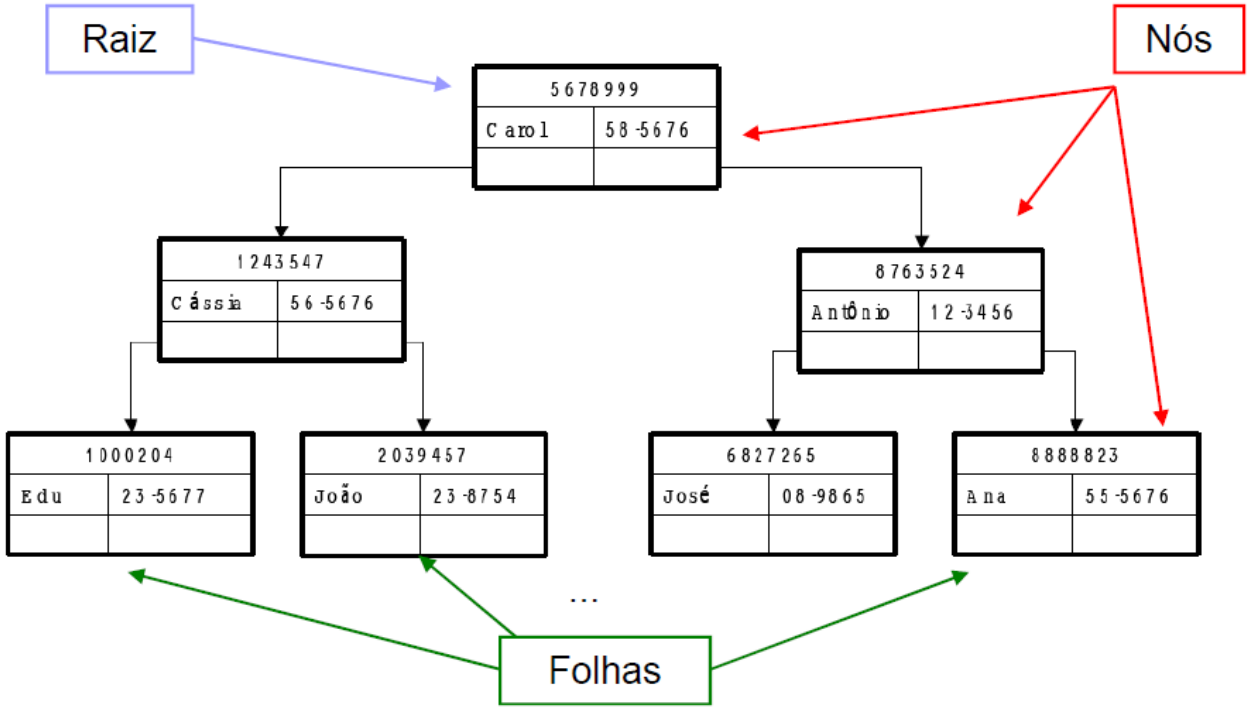
Uma vez criado o índice não é necessário fazer mais nada. O sistema o manterá atualizado e sincronizado com o estado da tabela.

Para evitar perda de performance, em operações de inserção e remoção, índices desnecessários devem ser evitados

Mas afinal, como são esses índices?

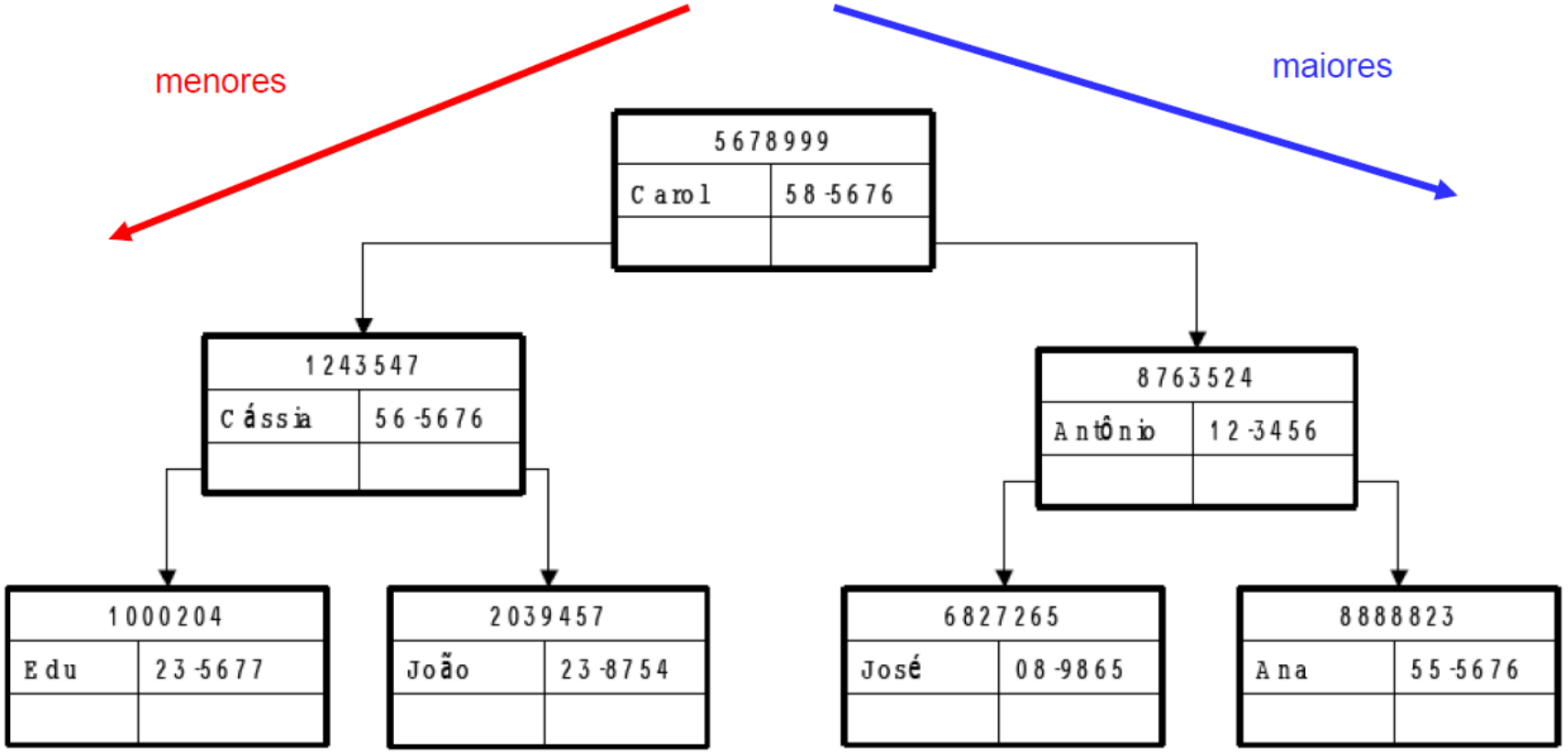
Árvores

Estruturas de indexação para dados convencionais, em geral, baseiam-se em estruturas de dados do tipo *árvore*



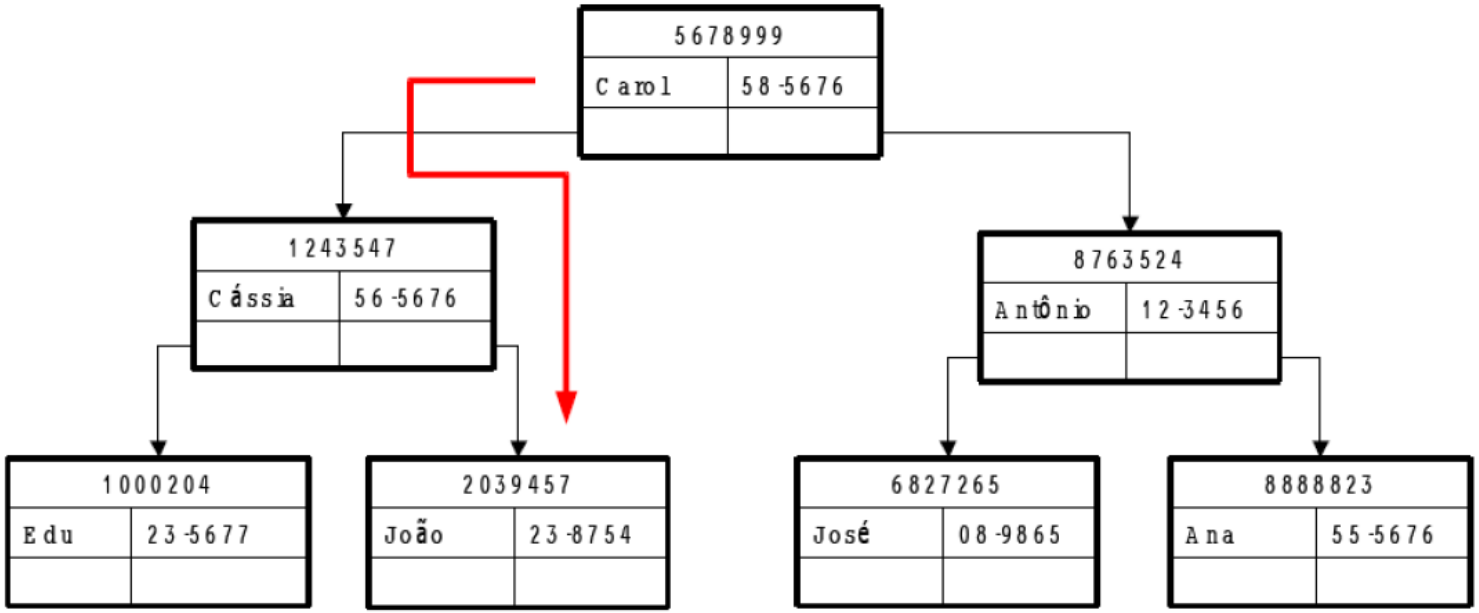
Grau: número máximo de filhos que um nó pode ter

Árvores Binárias



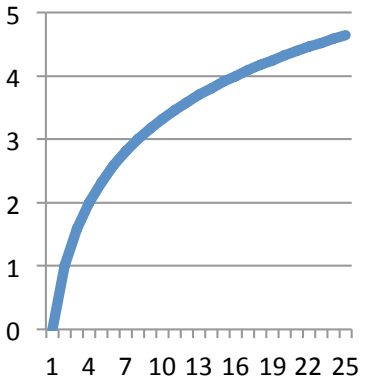
Árvores binárias

Quais os dados do aluno cuja matrícula é 2039457?

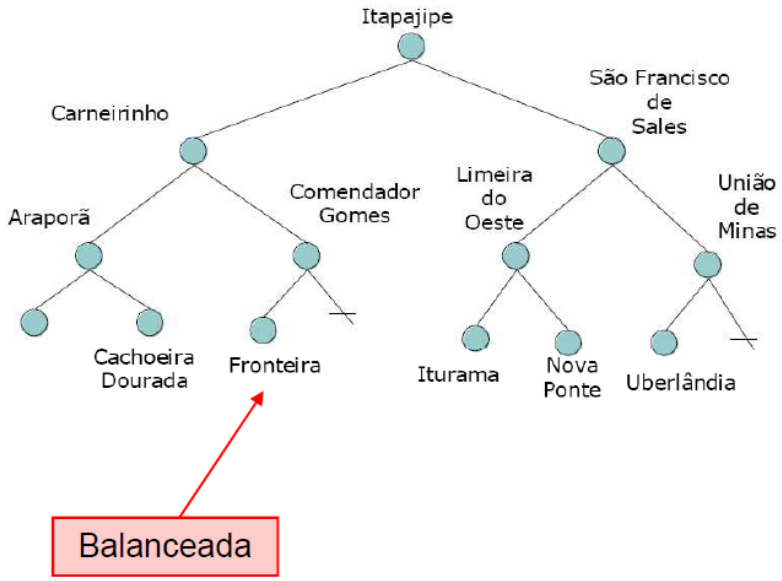


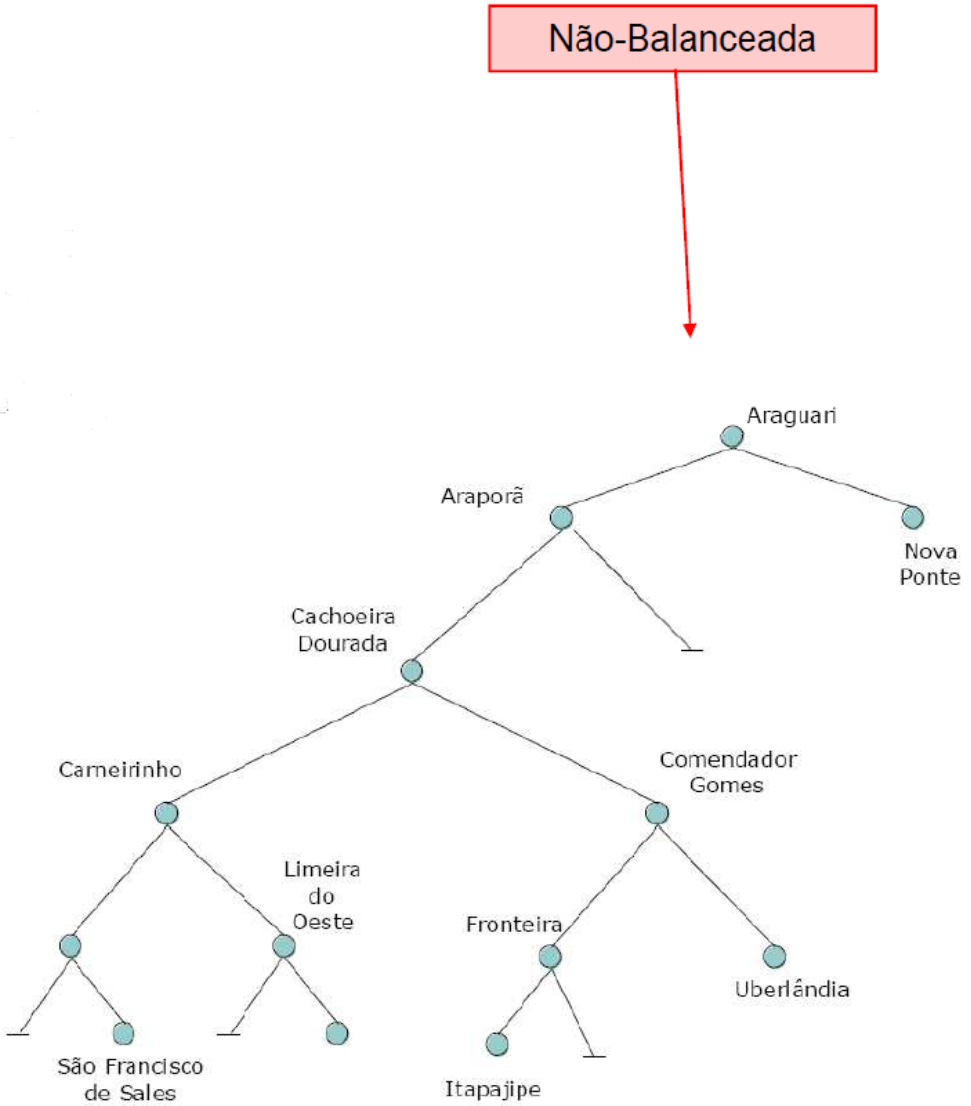
Árvores binárias de pesquisa (BST)

- Grau máximo de um nó: 2
- Árvores balanceadas mais comuns:
  - AVL (Adelson-Velskii e Landis);
  - Red Black Tree;
  - Splay Tree.
- Operações em $O(\log_2 n)$
  - Localizar um nó, dada um valor de chave;
  - Inserir um nó, dado um valor de chave;
  - Remover um nó, dado um valor de chave.



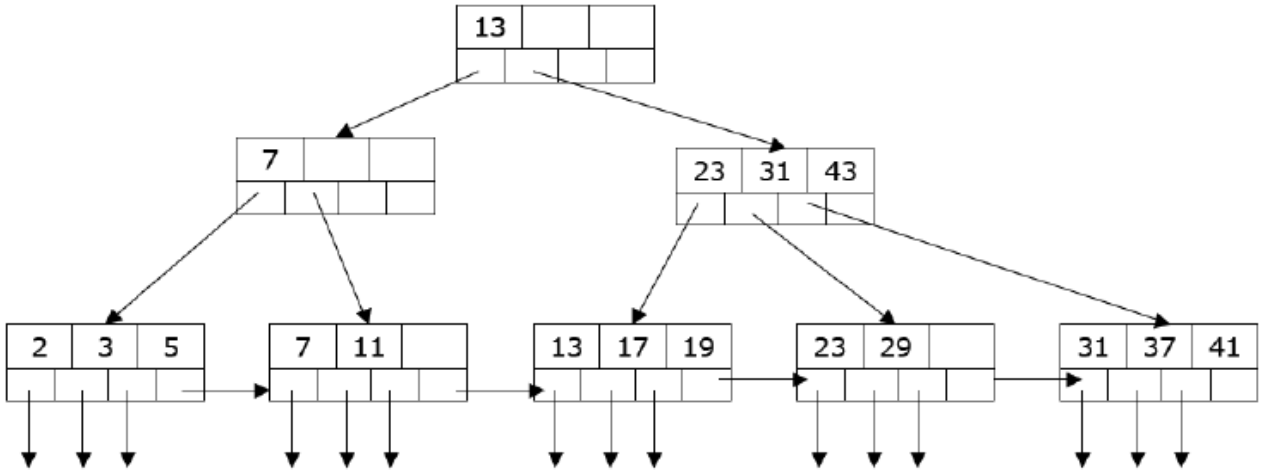
Árvores Balanceadas





Árvores B (B-Tree)

- Uma B-tree de ordem m é tal que*:*
  - Todas as folhas estão no mesmo nível
  - Todos os nós internos, exceto a raiz, podem ter no máximo m e no mínimo m/2 filhos
  - A raiz tem no mínimo 2 e no máximo m *filhos*



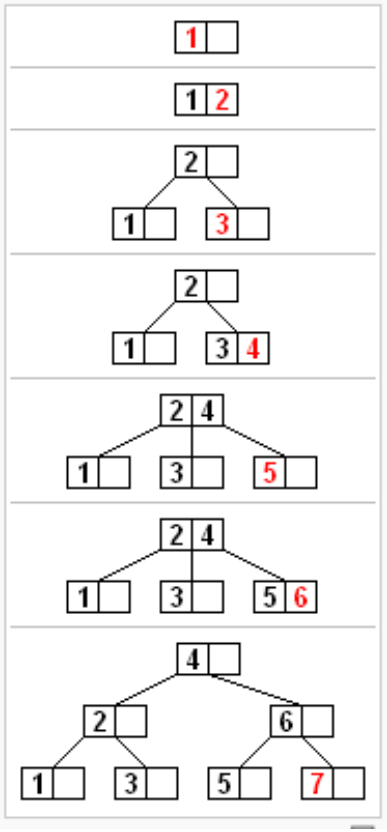
Métodos de acesso espaciais

- Em BD espaciais, o SGBD precisa contar com métodos de acesso especificamente voltados para as características dos dados de representação
- Os métodos tradicionais são também usados, mas apenas sobre os dados alfanuméricos

Árvores B

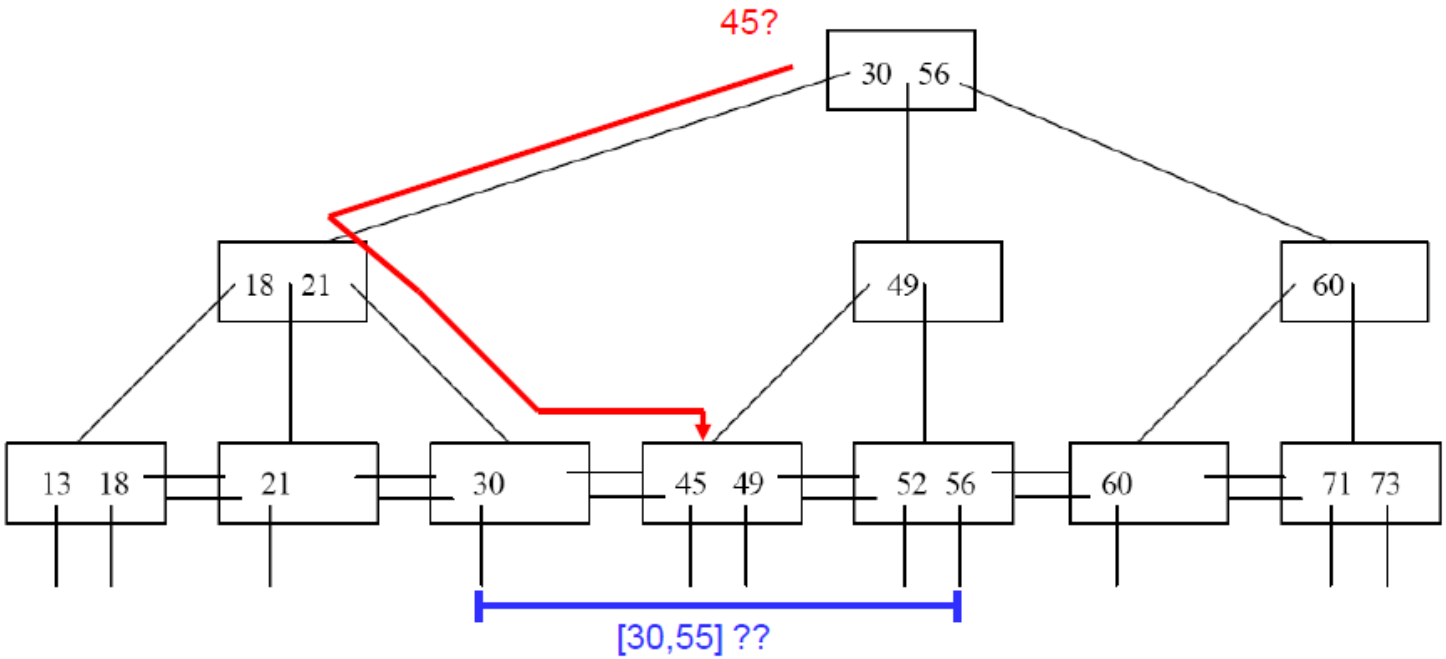
- Como os número de filhos dos nós internos pode variar, e esses não necessitam estar cheios, a árvore não necessita ser totalmente rebalanceada sempre.
- Cada nó é armazena do em uma página de disco.

1. Se o nó contém menos que o número máximo permitido, insira o elemento mantendo a ordem.
2. Senão, divida o nó em dois:
    1. O valor médio é escolhido entre os elementos do nó e o novo elemento.
    2. Valores menores que o valor médio são colocados a esquerda e maiores a direita
    3. Insira o valor médio no nó acima (caso ele tenha pai) seguindo o mesmo procedimento. Caso não tenha crie um novo nó.



Árvores B

- Todas as chaves são mantidas em folhas, e algumas chaves são repetidas em nós não-folha para definir caminhos para localizar registros individuais
- As folhas são ligadas através de uma lista duplamente encadeada, de modo a oferecer um caminho seqüencial para percorrer as chaves na árvore.

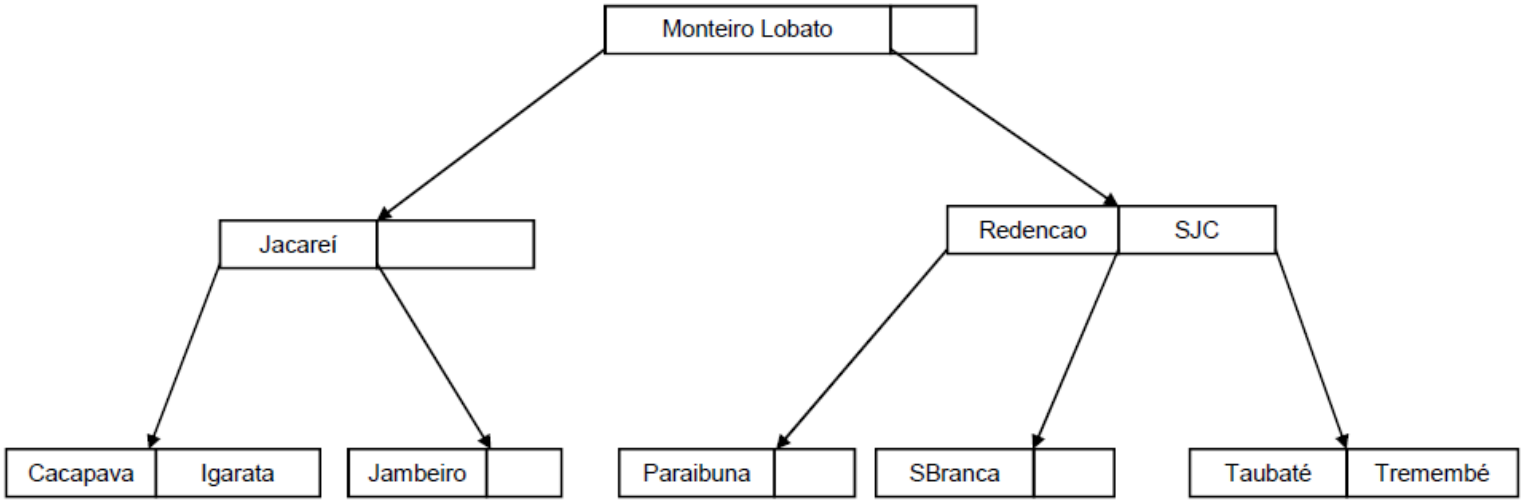


Árvores B (B-Tree)

- É o índice default no PostgresSQL quando se usa o comando `CREATE INDEX`
- Um nó pode conter várias chaves
- http://slady.net/java/bt/view.php?w=800&h=600
- Leia a documentação do PostgreSQL sobre o uso de índices: http://www.postgresql.org/docs/7.4/static/indexes.html

Exemplo

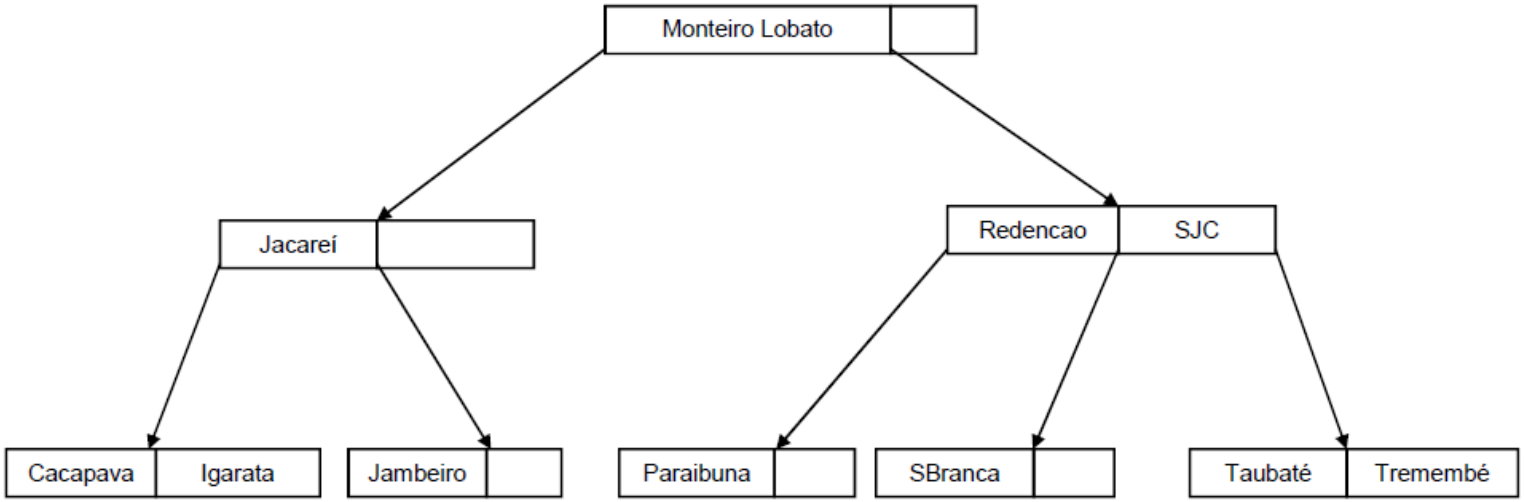
Caçapava, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, Monteiro Lobato, Paraibuna, Redenção, Sbranca, Taubaté e Tremembé



Reponde bem a consulta: “me dê os dados de Paraibuna”

Exemplo

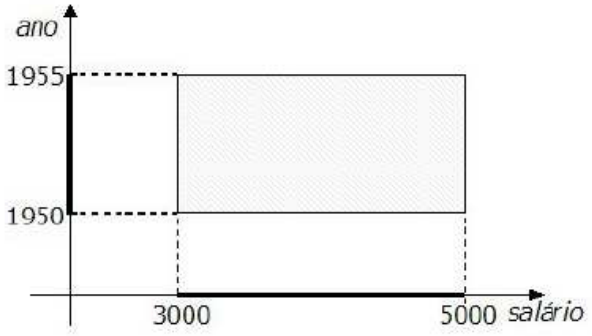
Caçapava, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, Monteiro Lobato, Paraibuna, Redenção, Sbranca, Taubaté e Tremembé

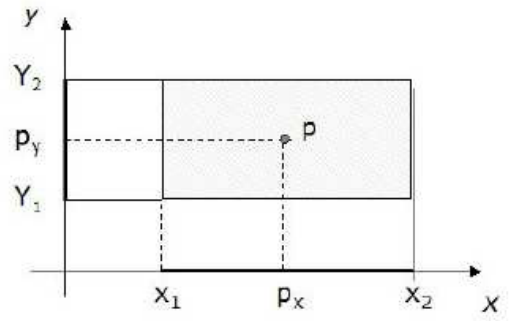


Não responde a consulta: “me dê os dados das cidades dentro de tal área de interesse”

Índices multidimensionais

- As árvores mostradas anteriormente, são estruturas unidimensionais, ou seja, pressupõem que a chave de pesquisa seja formada por apenas um atributo ou pela concatenação de vários atributos
- Facilitam o processamento das consultas por intervalos quando estes são unidimensionais
- Muitas vezes a busca que se deseja fazer é multidimensional





Quais os empregados com idade entre 50 e 55 anos com salário entre 3000 e 5000?

Métodos de acesso espaciais

- Métodos de acesso espaciais são estruturas de dados auxiliares, porém essenciais para o processamento de consultas e para a execução de procedimentos de análise espacial com eficiência

- Também são chamados de índices espaciais

  Ao contrário dos índices convencionais, os espaciais são de uso obrigatório, para que o desempenho seja minimamente aceitável em BDs de tamanho razoável

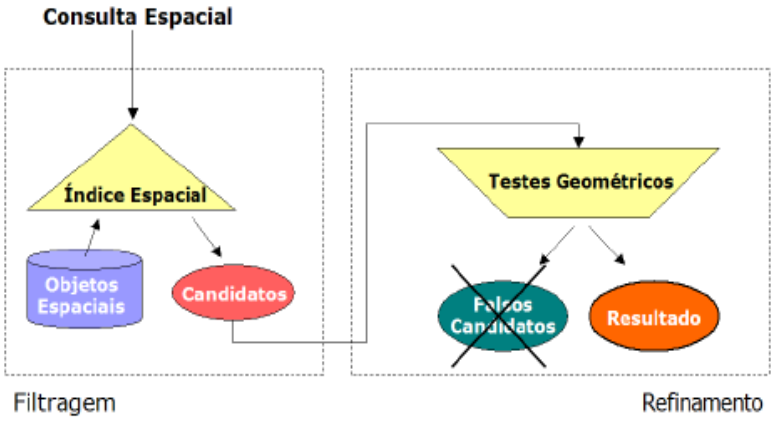
Métodos de acesso espacial

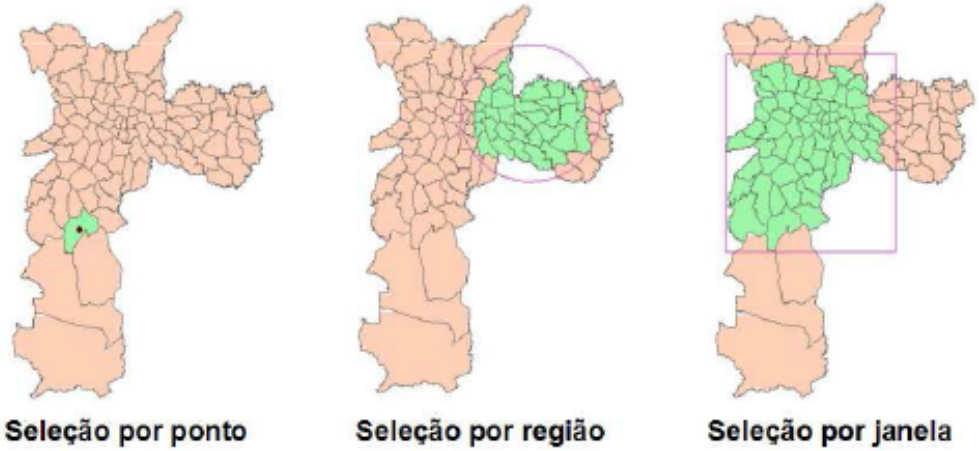
- O plano de execução realiza uma *filtragem*, para determinar um subconjunto dos objetos do BD que *podem atender às* especificações da consulta

- Essa filtragem precisa ser executada com muita rapidez, e portanto é realizada sobre uma *aproximação da forma* geométrica de cada objeto

Índices espaciais

- Busca atender a consultas onde objetos são selecionados com respeito a sua localização espacial
- Índices tradicionais dependem de uma ordem total em uma chave
- Índices espaciais buscam preservar proximidade espacial





Uso de índices espaciais

- Seleção de objetos para visualização
  - Objetos contidos no retângulo do zoom
- Localização de objetos selecionados por
  - apontamento
  - Objetos cujas fronteiras contêm ou se aproximam do ponto indicado na tela
- Consultas topológicas
  - Encontrar objetos relacionados topologicamente a um objeto espacial dado (contido em, contém, adjacente a, cruzando, etc.)

Métodos de indexação espacial

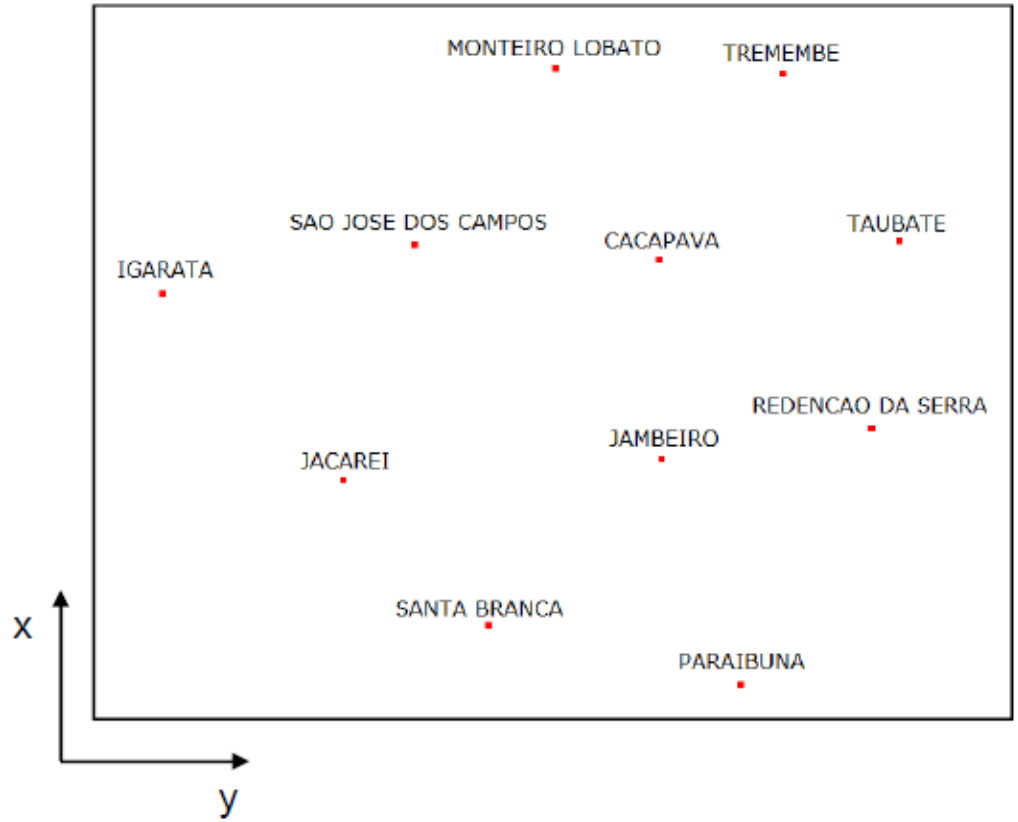
- Determinados pelo espaço: baseiam-se em partições do espaço independente da distribuição dos dados (pontos ou retângulo envolvente) no plano 2D.
- Determinado pelos dados: particionam um conjunto de objetos e não o espaço

K-d Tree

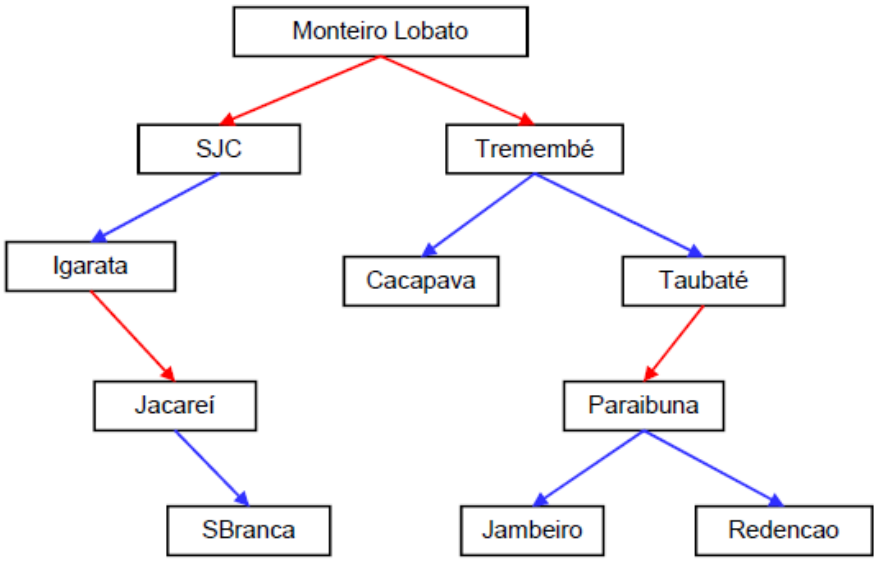
- Indexa chaves formadas por *k atributos* (geometricamente, dimensões)
- Cada nível da árvore corresponde a uma das dimensões
- As dimensões ocorrem ciclicamente pelos níveis da árvore

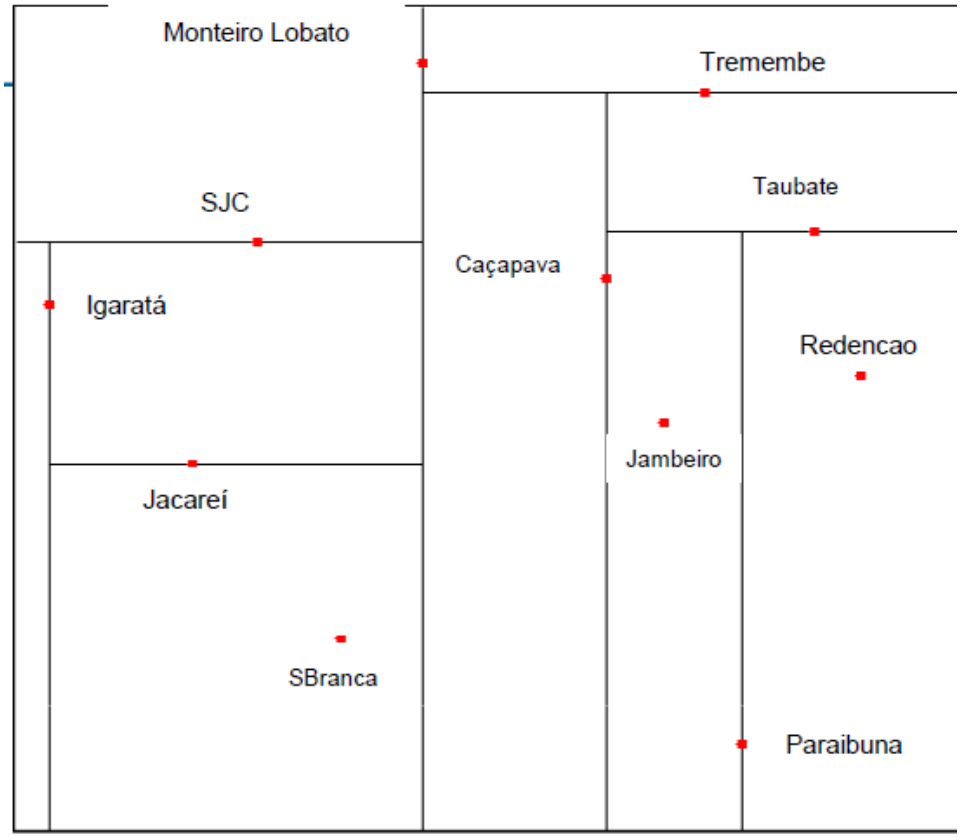
K-d Tree

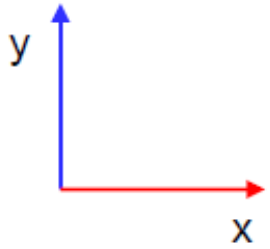
- Generalização árvore binária de pesquisa para o espaço multidimensional



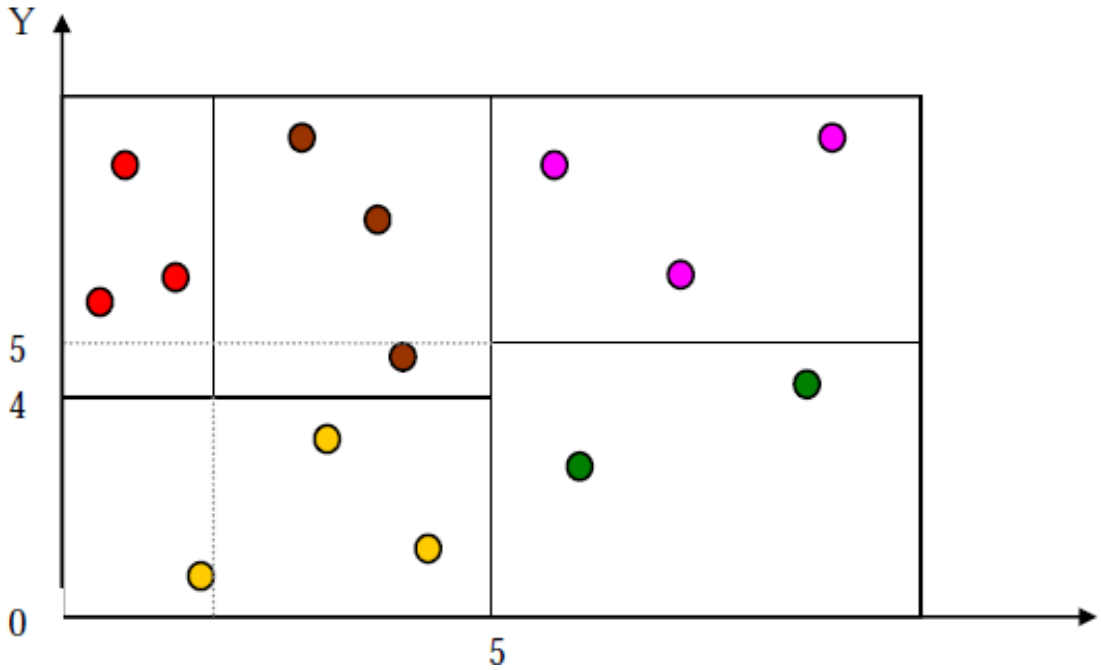
K-d Tree

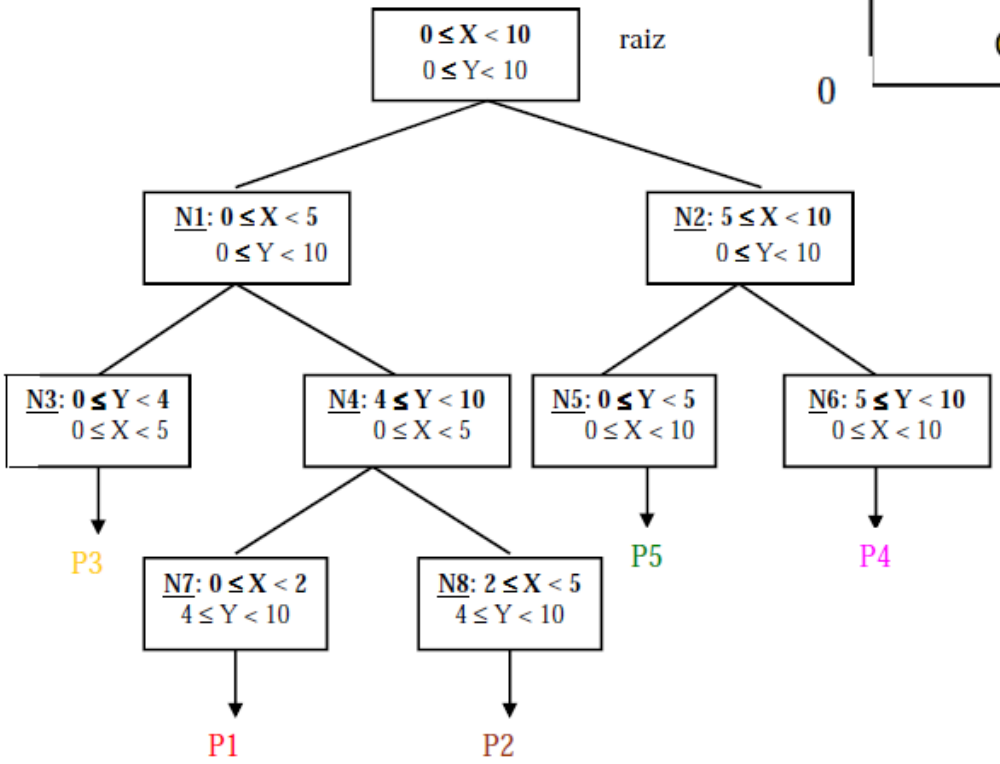

Monteiro Lobato
SJC
Tremembé
Igarata
Cacapava
Taubaté
Jacareí
Paraibuna
SBranca
Jambeiro
Redencao


Monteiro Lobato
Tremembe
SJC
Taubate
Caçapava
Igaratá
Redencao
Jambeiro
Jacareí
SBranca
Paraibuna


y
x

K-d Tree





Para para localizar o ponto (4,9):

raiz, N1, N4, N8 até a página P2.

Para localizar os pontos no retângulo ((1,4),(4,9)):

raiz, N1, N4, N7 e N8 até as páginas P1 e P2.

K-d Tree: Busca

- Seja um retângulo R=[(x1, y1): (x2, y2)] contendo o intervalo de pesquisa:
  - Começamos pela raiz (nível 0 → par)
  - Se o ponto deste nó ∈ R, ele é reportado
  - Se ele for um nó em um nível par:
    - Se R.x1 < p.x, aplicamos recursivamente o passo 2 à sub-árvore esquerda
    - Se R.x2 > p.x, aplicamos recursivamente o passo 2 à sub-árvore direita
  - Caso contrário, se ele for um nó em um nível ímpar:
    - Se R.y1 < p.y, aplicamos recursivamente o passo 2 à sub-árvore esquerda
    - Se R.y2 > p.y, aplicamos recursivamente o passo 2 à sub-árvore direita
- Pesquisa por apontamento: $O(log_2 n)$
- Pesquisa por janela: $O(N)$

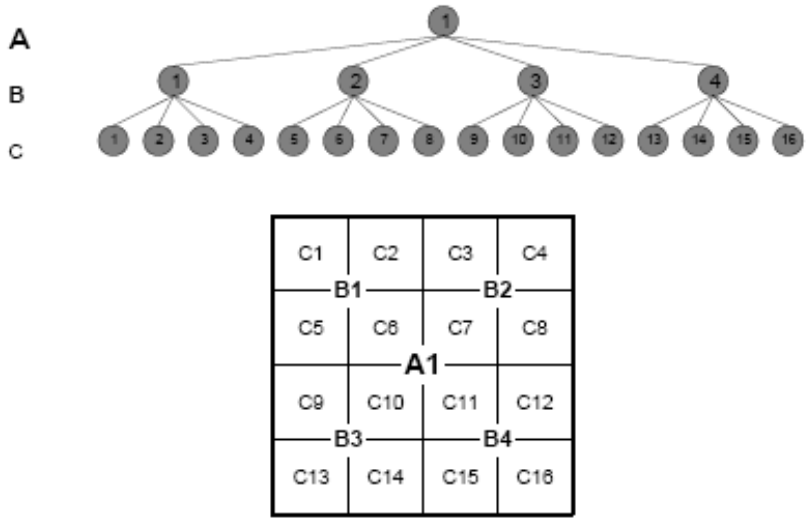
K-d Tree

- Estrutura de dados *d*-dimensional que representa a subdivisão recursiva do espaço em subespaços por meio de *d*-1 hiperplanos. "*k*" representa a dimensão do espaço.
- Uma K-d tree é uma árvore de busca binária
- Os hiperplanos são orientados alternadamente entre as *d* possibilidades
- Cada particionamento do plano contém pelo menos um ponto, que é usado para ser representado na árvore.
- Inserções e buscas são simples, mas remoções não.
- Existem muitas variações e extensões da K-d tree: k-d tree adaptativa, hB-Tree, QuadrTree, k-b-B Tree

Quad-Tree

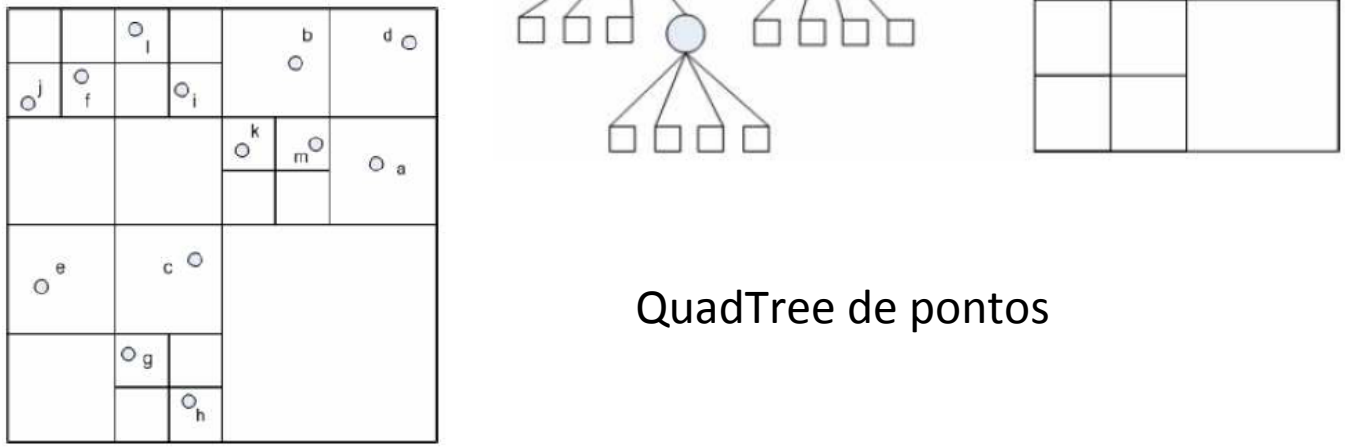
- Espécie de árvore em que cada nó possui sempre quatro “folhas”
- A cada nó corresponde uma região quadrada do espaço
- Os objetos são relacionados ao menor quadrado que contém seu retângulo envolvente

Quad-Tree


A
B
C
1
1
2
3
4
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
C1
C2
C3
C4
B1
B2
C5
C6
C7
C8
A1
C9
C10
C11
C12
B3
B4
C13
C14
C15
C16

QuadTrees

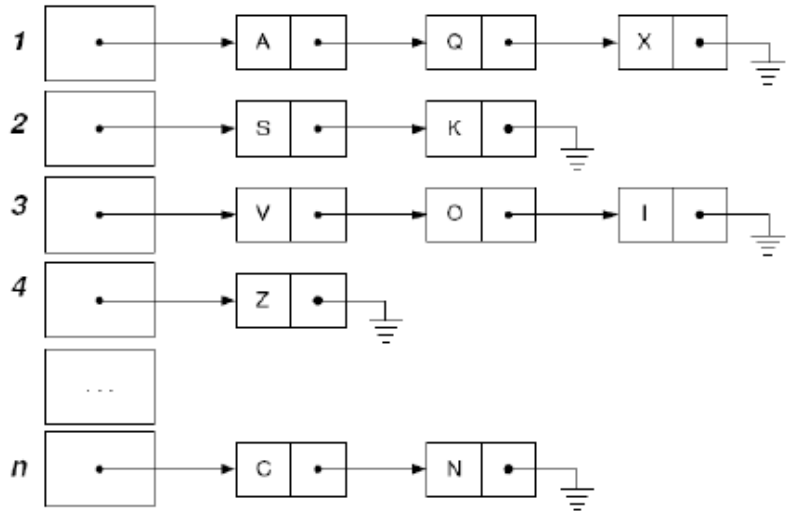
- Baseia-se no conceito de divisão por quadrantes
- O espaço é particionado até que a capacidade da página seja atingida



QuadTree de pontos

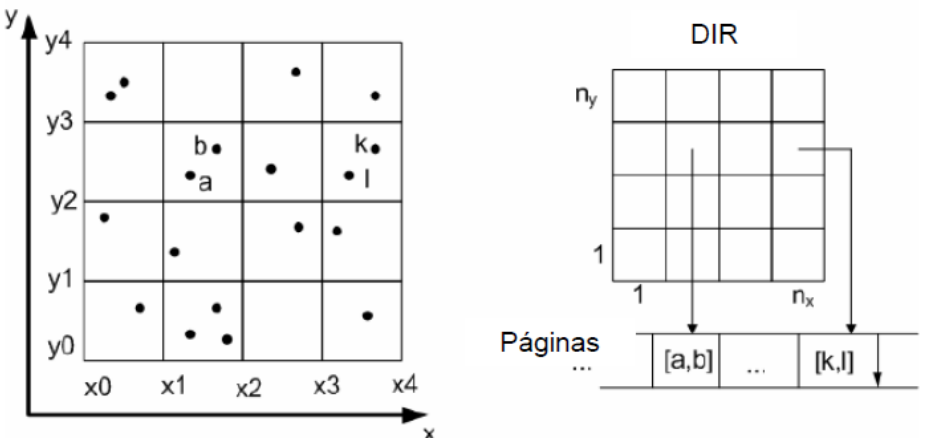
Hashing

- Transformação de chave: consiste em criar uma série de *pacotes*, numerados seqüencialmente que receberão os identificadores
- Cada identificador que chega, seja para ser inserido, seja para ser pesquisado, é transformado em um número de 1 a n, identificando o *pacotes* correspondente a ele.



Grades fixas

- O espaço é dividido em uma grade de $n_x \times n_y$ células, igualmente espaçadas. Cada célula corresponde a uma página de disco
- Um ponto *P* é associado a célula *c* se ela o contém
- O índice requer uma matriz $[1{:}n_x , 1{:}n_y]$ como um diretório. O elemento DIR[i, j] contém o endereço de página ID que armazena os pontos associados a célula $c_{i,j}$

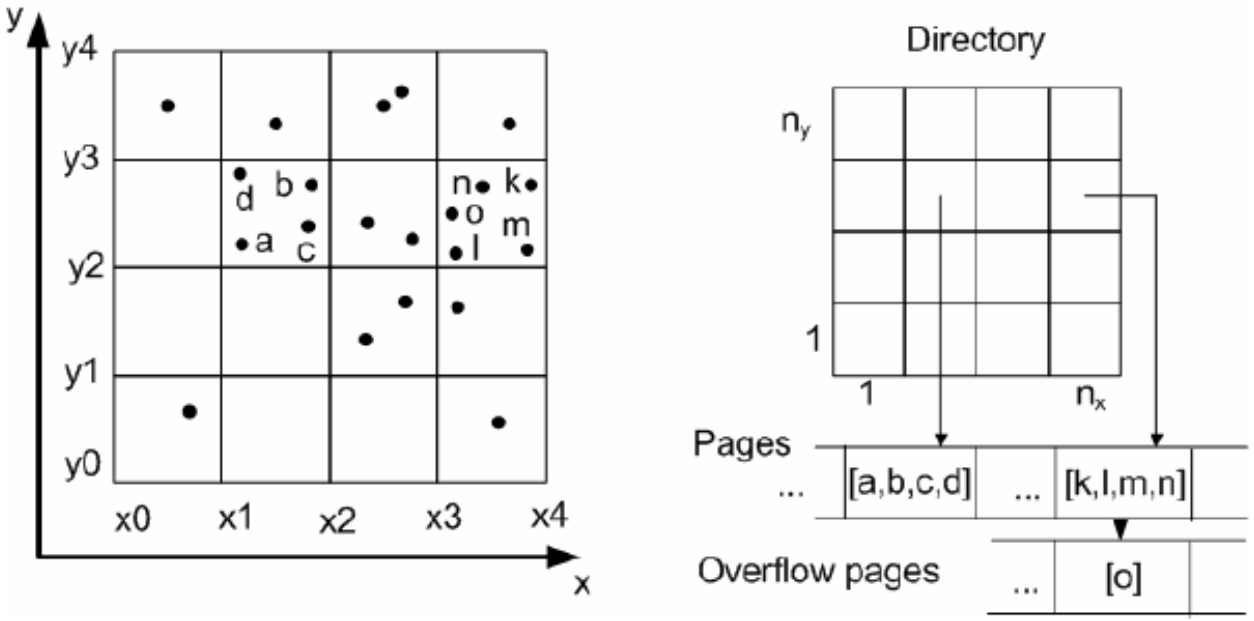


Grades Fixas

- Se $[S_x \times S_y]$ é o tamanho do espaço de busca 2D, cada célula tem o tamanho $[S_x/n_x \times S_y/n_y]$.
- Operações:
  - Inserindo P(a,b):
    - Calcule $i = (a-x_0)/(S_x/n_x) + 1$ e $j = (b-y_0)/(S_y/n_y) + 1$
    - Leia a página DIR[i,j].Id e insira P
  - Consulta por apontamento: dado um ponto P(a,b) busque a página para inserção, leia a página, passe pelas entradas e verifique qual delas é igual a P.
  - Consulta por janela: calcule o conjunto de S de células *c* tais que c.MBR intercepte a janela de consulta *W*; para cada célula $c_{i,j}$ em *S*, leia a página DIR [i,j].Id e retorne os pontos na pagina que estão contidos em *W*
- Consultas por ponto requerem uma operação de E/S
- Número de operações de E/S para executar uma consulta por janela depende do número de intersecções com a janela *W*.

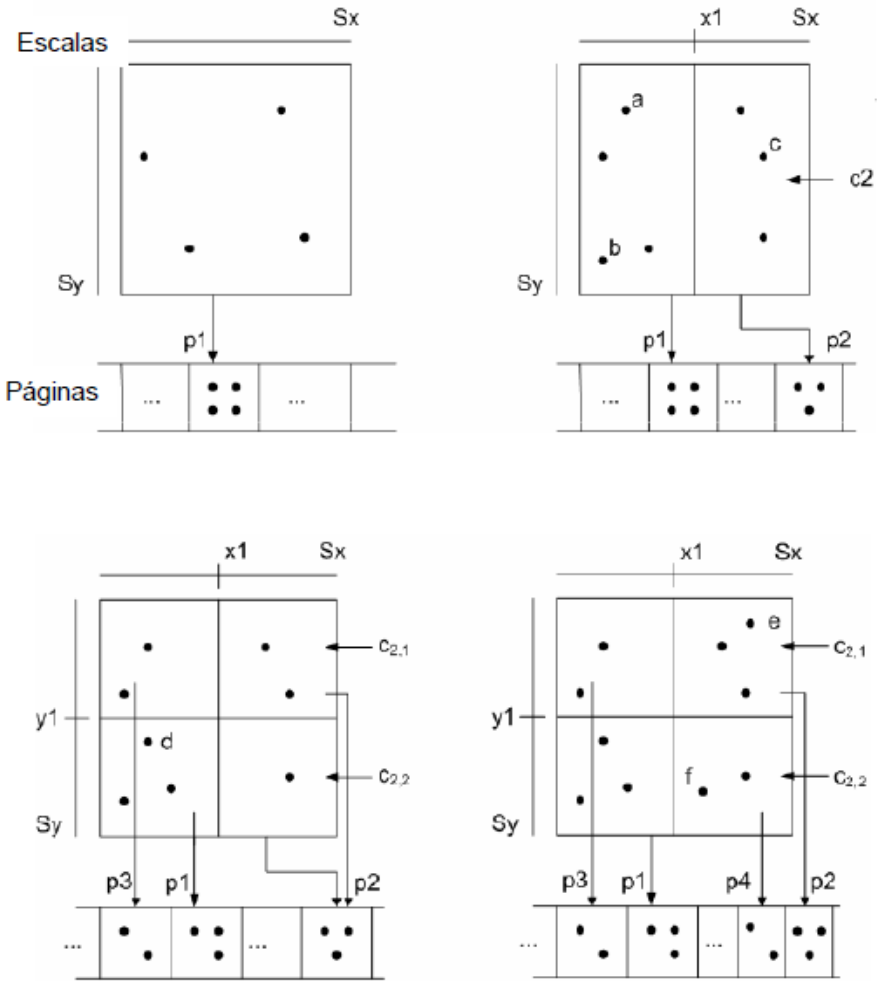
Grades fixas

- A resolução da grade depende do número de pontos sendo indexado; dada uma capacidade de células M, é possível criar grades fixas com pelo menos N/M células.
- Grades fixas são muito sensíveis a distribuição dos pontos



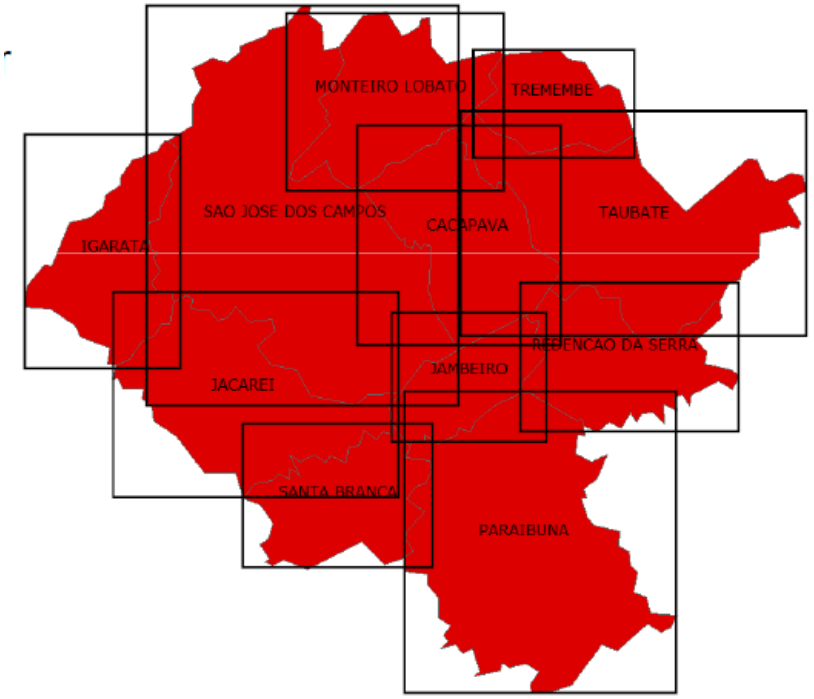
Grid-files

- Partição se adapta a distribuição dos pontos
- No diretório duas células podem apontar para a mesma página
- Duas estruturas que representam a escala de particionamento em cada eixo: Sx e Sy.



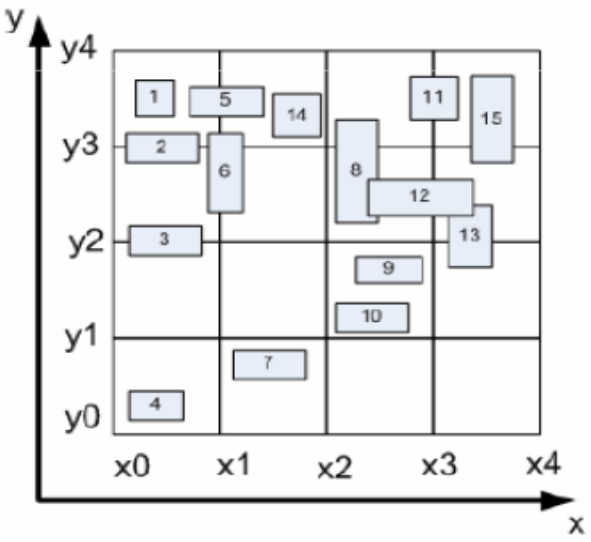
Retângulo Envolvente

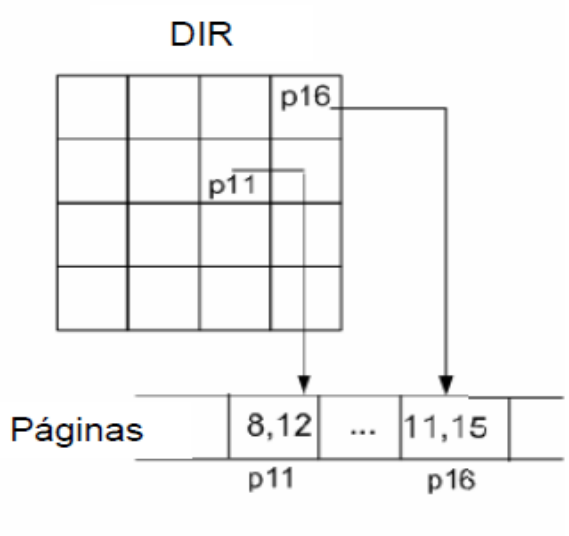
- Para objetos com área adota-se uma aproximação pelo seu menor retângulo envolvente: MBR (*Minimum Bounding Rectangle)*



Grid-Files

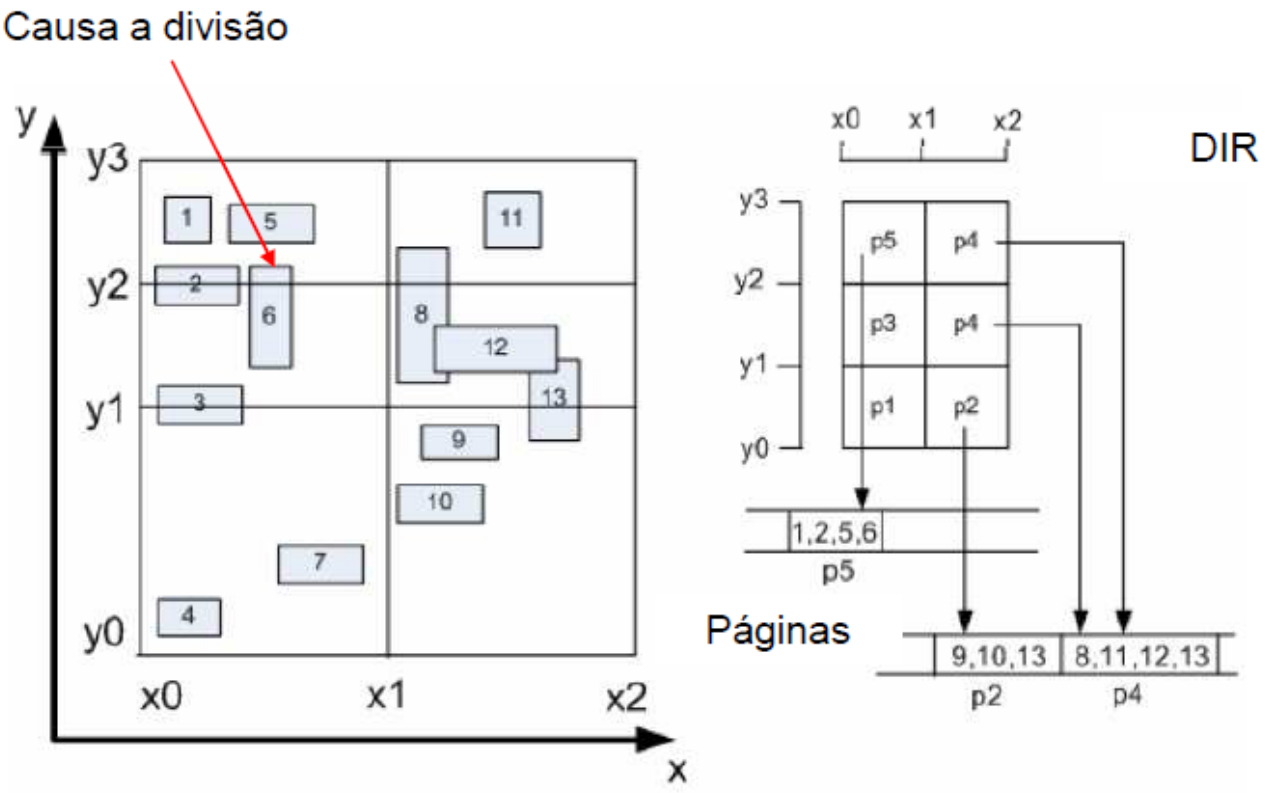
- Objetos são associados as células que seus MBR interceptam





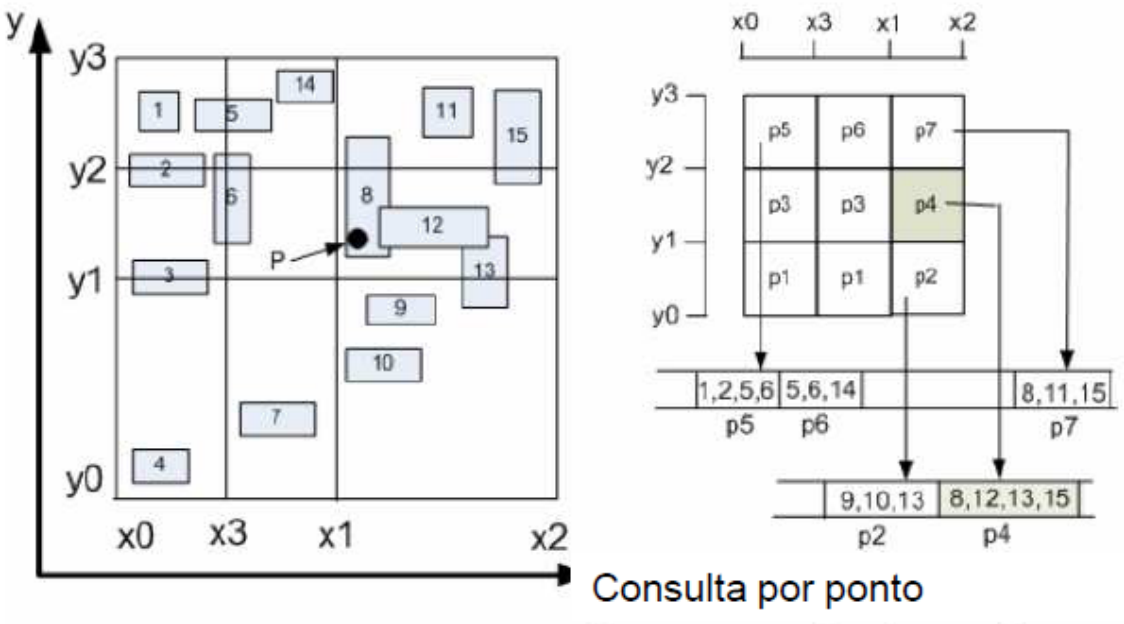
Grid Files

- Capacidade 4 nas páginas



Grid-Files - consultas

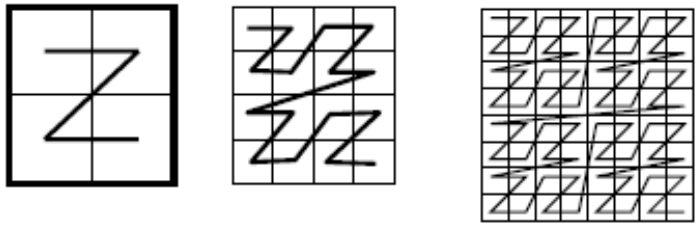
- Dado um ponto P(a,b), determine a célula que o contém. Acesse a página correspondente e obtenha a coleção de objetos E tais que P ∈ e.mbr.
- Teste exatamente quais geometrias contém o ponto
- Dado uma janela determine todas as células que a interceptam. Acesse a coleção de objetos, remova as duplicações e teste os objetos.



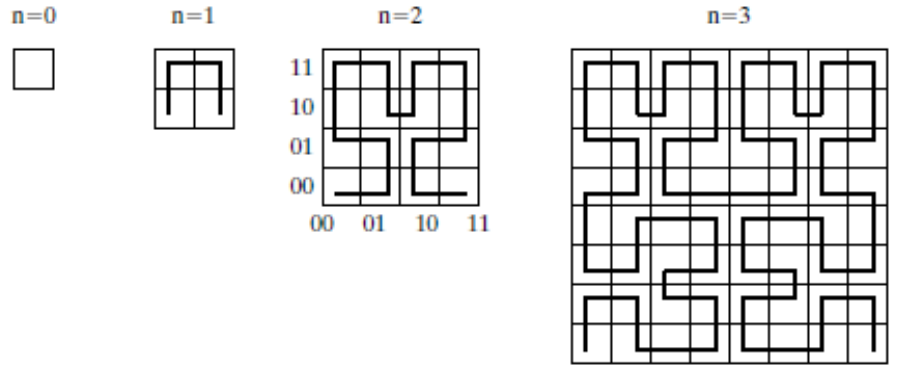
Consulta por ponto

Space filling curves

- Uma space-filling curves define uma ordem total nas céluas de uma frade 2-dimensional. A a cada célula é associado um número de forma que números próximos estão associados a células próximas no espaço



z-ordem



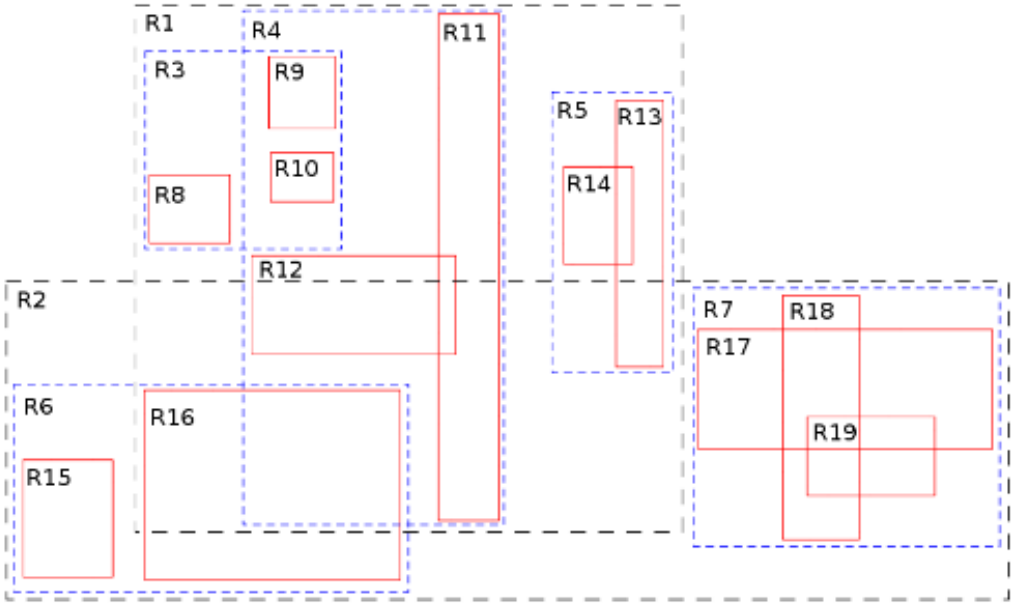
Hilbert

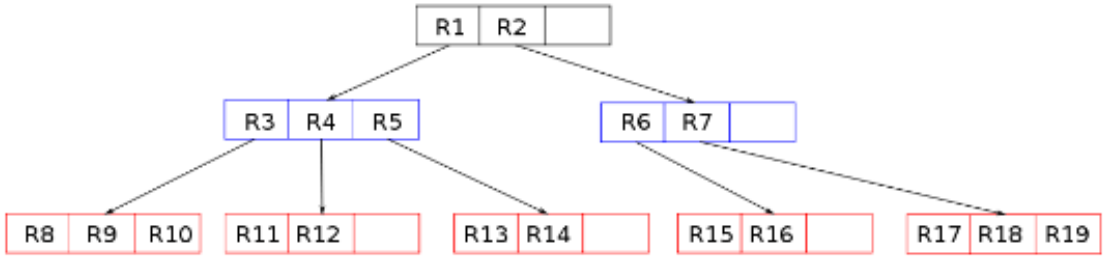
R-Tree

- Indexa objetos pelo seu retângulo envolvente mínimo
- Pontos também podem ser indexados (retângulo envolvente nulo)
- Cada bloco de armazenamento pode conter um número variável de retângulos
- O aumento do número de objetos causa subdivisões nos blocos, e a redução provoca fusões de blocos

R-Tree

ff


R1
R4
R11
R3
R9
R5
R13
R10
R14
R8
R12
R2
R7
R18
R17
R6
R16
R19
R15


R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19

R-Tree

- Existem diversas variações na literatura
  - R+-Tree
  - R*-Tree
  - Hilbert R-Tree
  - X-Tree
  - ...
- O mais usual é encontrar implementações da R-tree original nos produtos

SAM

- Métodos de acesso espacial são implementados em extensões espaciais e são usados para tornar eficiente a consulta ao dado espacial:
- Oracle spatial: R-Tree, Quad-Tree
- PostGIS: R-Tree-over-GiST
- MySQL: R-Tree