



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Spatial Database Systems

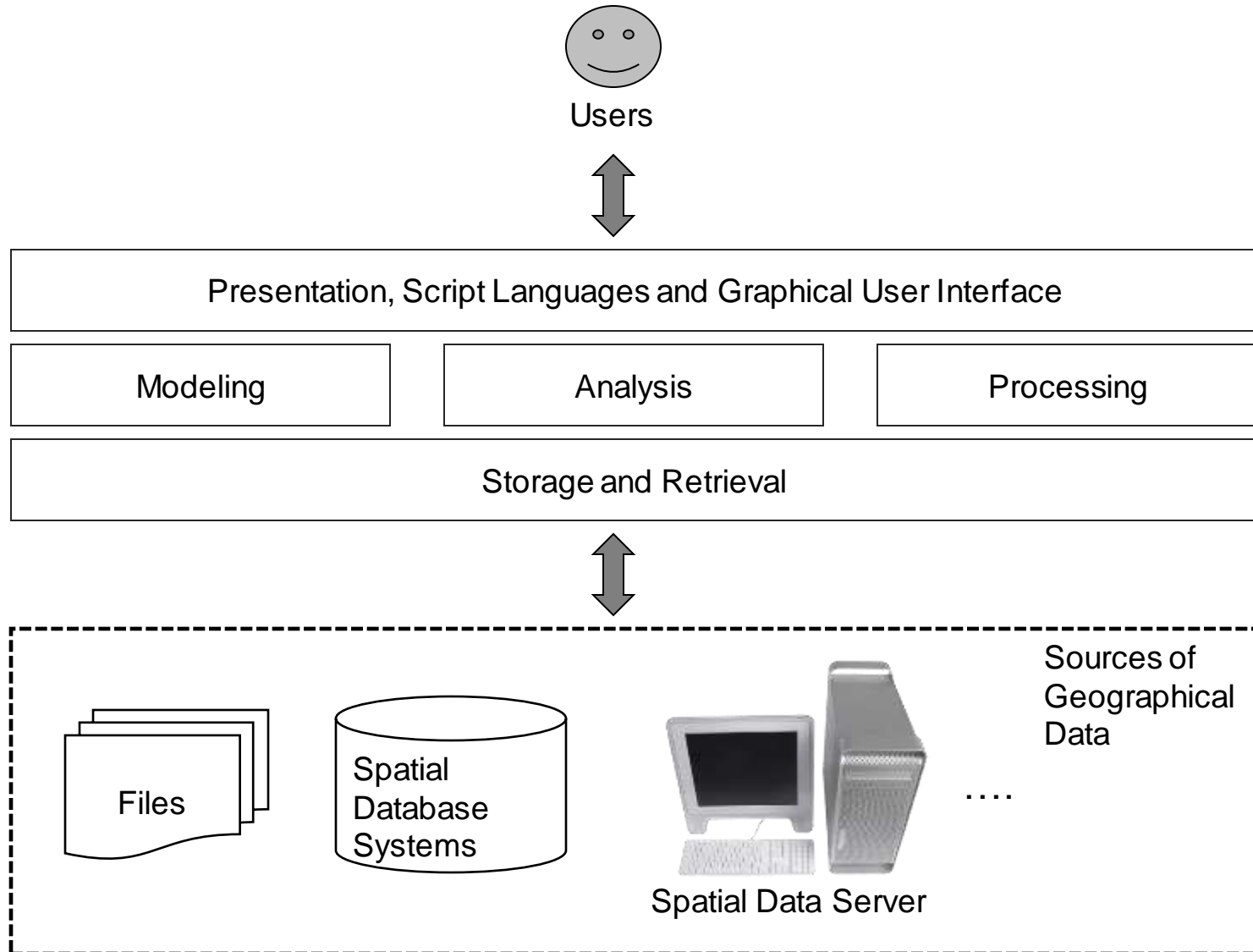
Karine Reis Ferreira
karine@dpi.inpe.br



Sistema de Informação Geográfica (SIG)

- *Geographic Information System (GIS)*
- Sistema computacional capaz de armazenar, processar e manipular dados geográficos (Worboys and Duckham, 2004)
- Funcionalidades de um SIG (Rigaux et al, 2002):
 - Entrada e validação de dados espaciais;
 - Armazenamento e gerenciamento;
 - Saída e apresentação visual;
 - Transformação de dados espaciais;
 - Interação com o usuário;
 - Combinação de dados espaciais para criar novas representações do espaço geográfico; e
 - Ferramentas para análise espacial.

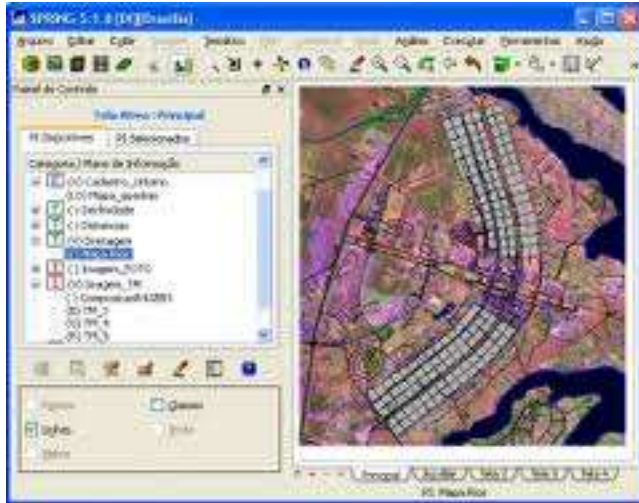
Sistema de Informação Geográfica (SIG)



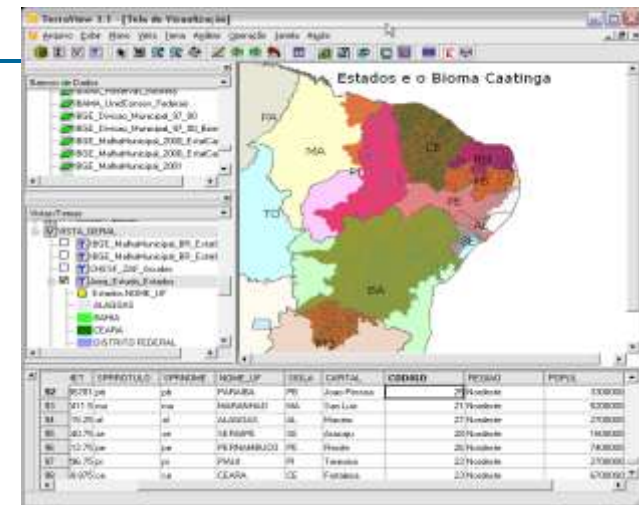
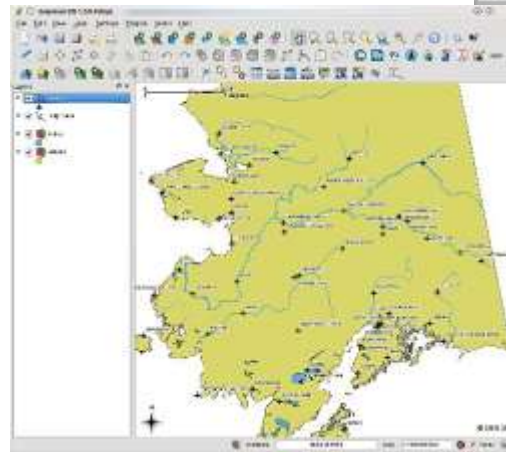


Exemplos de SIG

SPRING

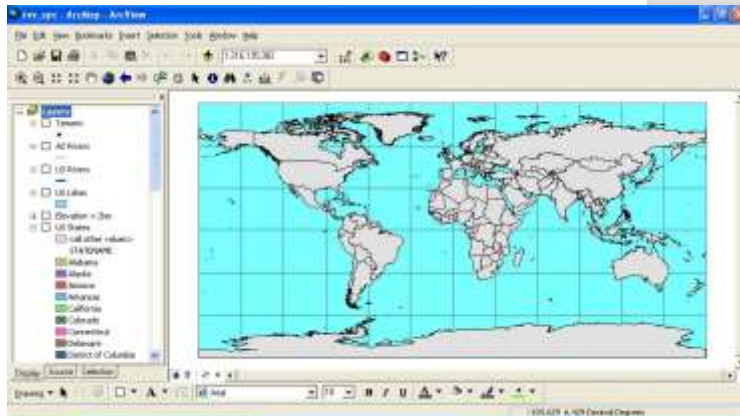


Quantum GIS

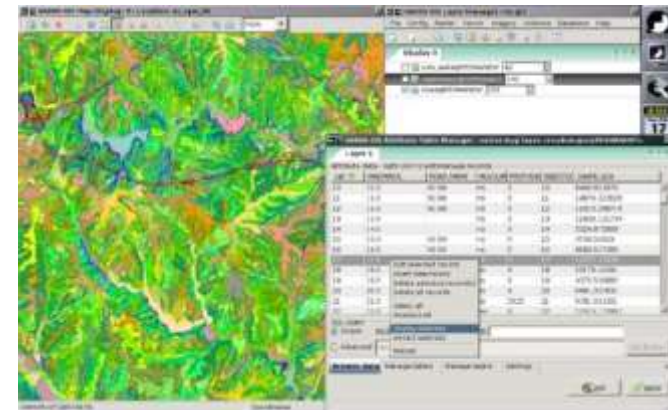


TerraView

ArcGIS



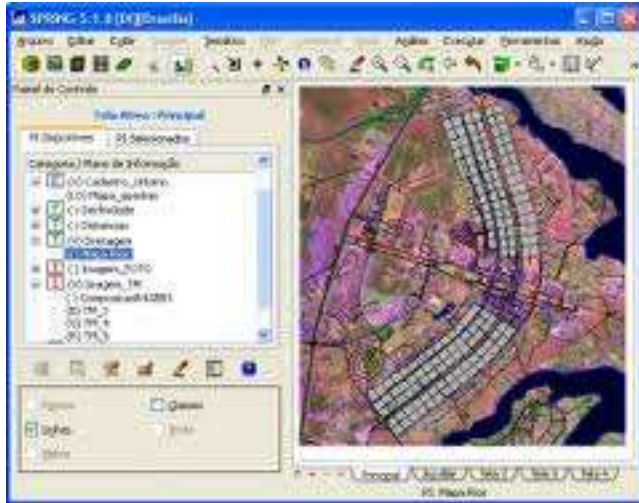
GRASS



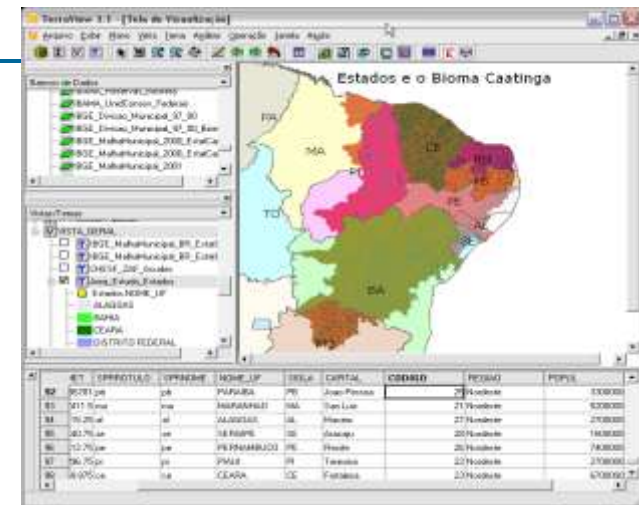
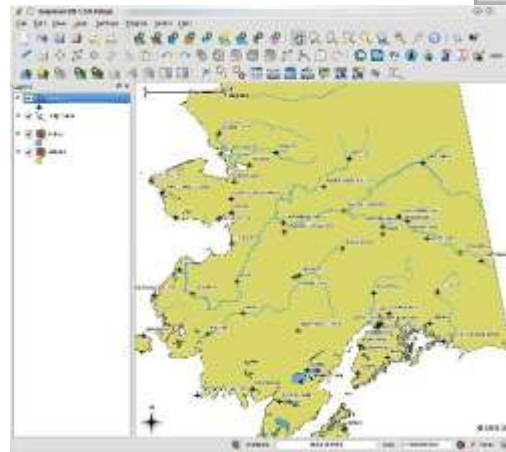


Exemplos de SIG

SPRING → Free



Quantum GIS



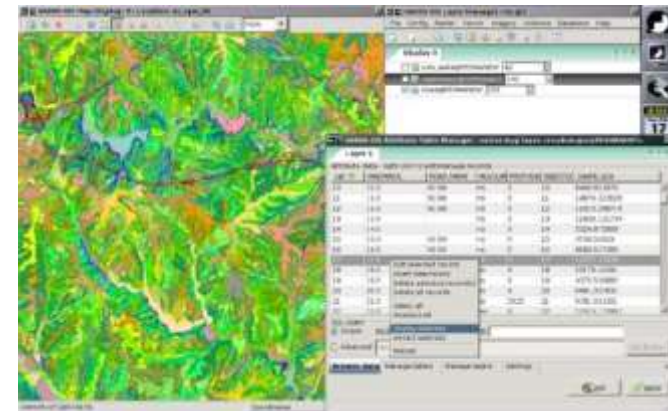
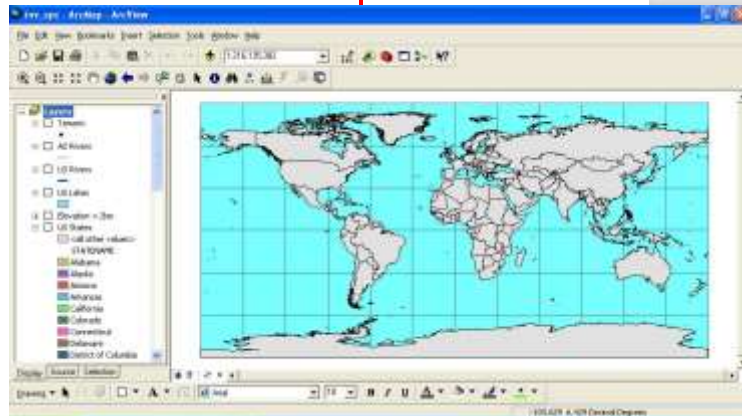
TerraView

Commercial

Free and Open Source

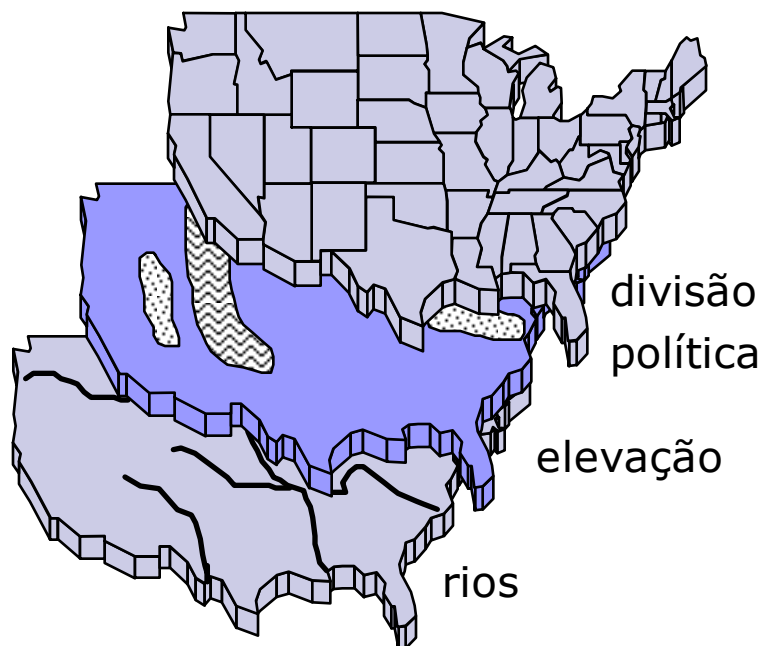
GRASS

ArcGIS



Organização lógica de dados em um SIG

- Plano de informação (nível, camada, *layer*):
 - Contém informações referentes a um único tipo de dados
 - Área geográfica definida
 - Ex:
 - Divisão política
 - Elevação
 - Rios





Sistema de Informação Geográfica (SIG)

- *Geographic Information System (GIS)*
- Sistema computacional capaz de armazenar, processar e manipular **dados geográficos** (Worboys and Duckham, 2004)
- Funcionalidades de um SIG (Rigaux et al, 2002):
 - Entrada e validação de dados espaciais;
 - Armazenamento e gerenciamento;
 - Saída e apresentação visual;
 - Transformação de dados espaciais;
 - Interação com o usuário;
 - Combinação de dados espaciais para criar novas representações do espaço geográfico; e
 - Ferramentas para análise espacial.

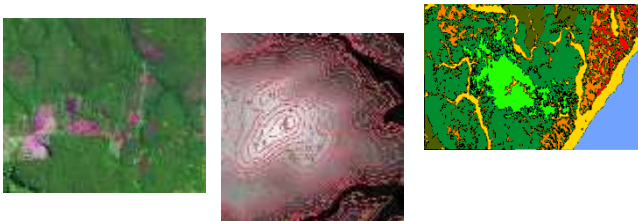
Representação Computacional de Dados Geográficos

Modelos Conceituais

Geo-Objetos

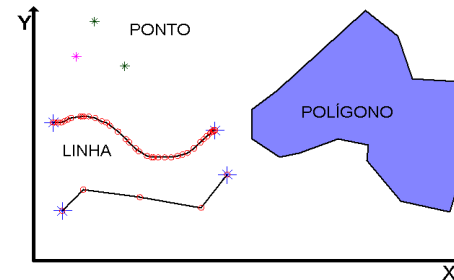


Geo-Campos

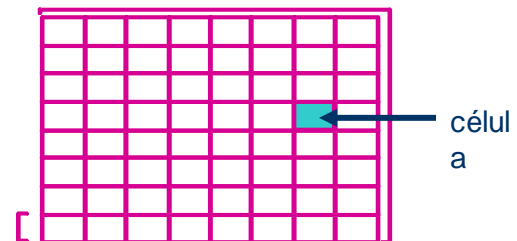


Representação Computacional

Tipos de Dados Vetoriais



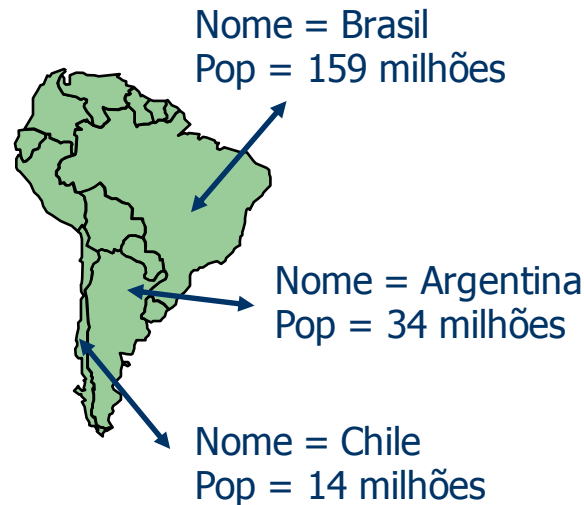
Tipos de Dados Matriciais



Geo-Objectos X Geo-Campos

Geo-Objetos (entidades, feições, *objects*, *features*)

- Coleção de entidades distintas e identificáveis, onde cada entidade é definida por uma fronteira fechada
- Homogeneidade interna
- Descrito por seus atributos (descreve o que está “dentro” dele)



Geo-Objectos X Geo-Campos

Geo-Campos (superfícies, distribuições, *fields*, *coverage*)

- Representam uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos observados
- Para cada ponto da região, temos um valor distinto

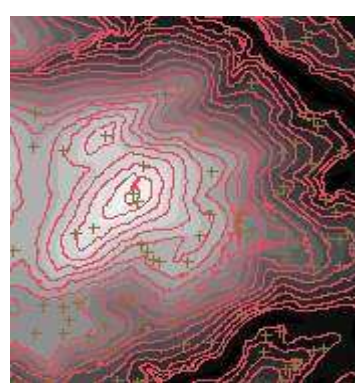
IDH



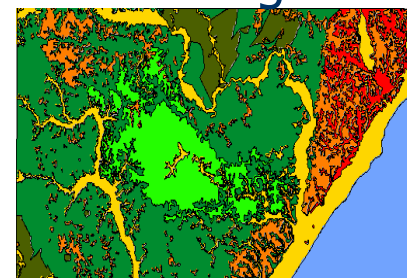
Imagem satélite



Altimetria

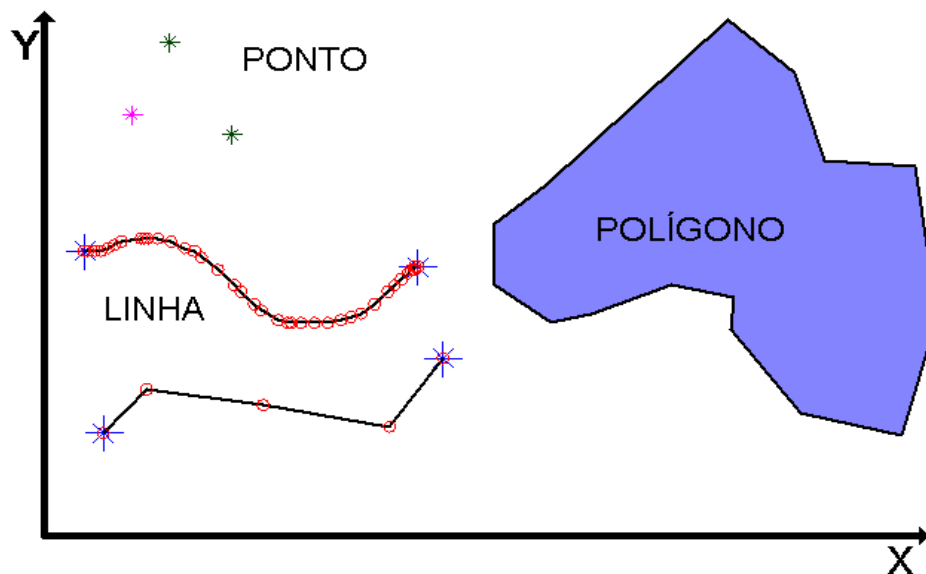


Geologia



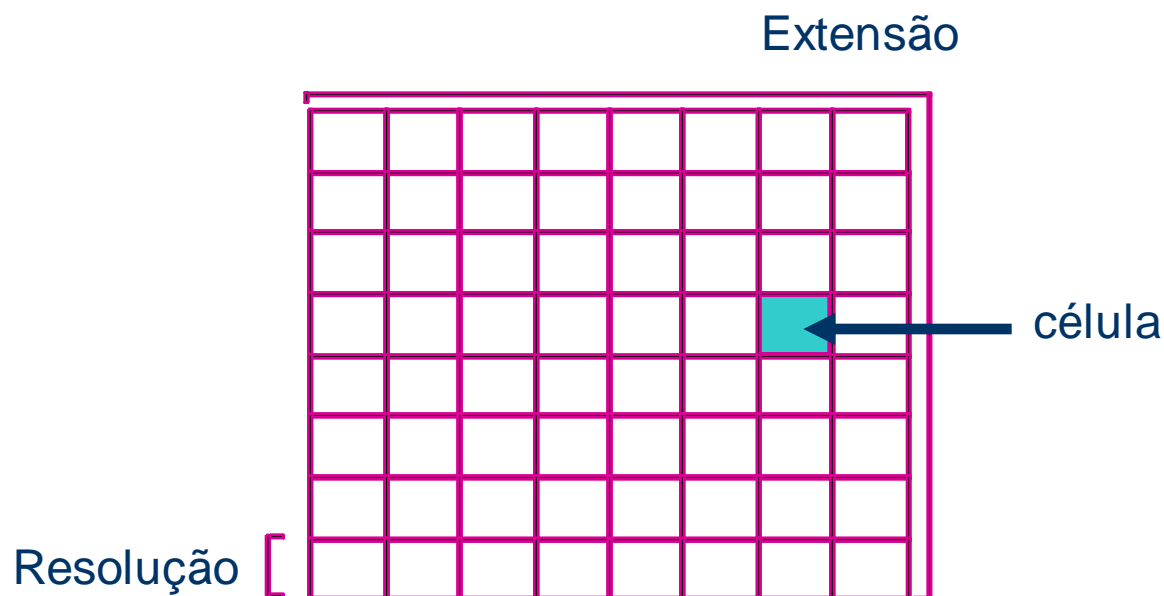
Estruturas Vetoriais

- Representam as fronteiras de cada entidade geográfica:
 - Ponto: par ordenado (x, y)
 - Linha: conjunto de pontos conectados
 - Área (polígono): região limitado por uma ou mais linhas fechadas

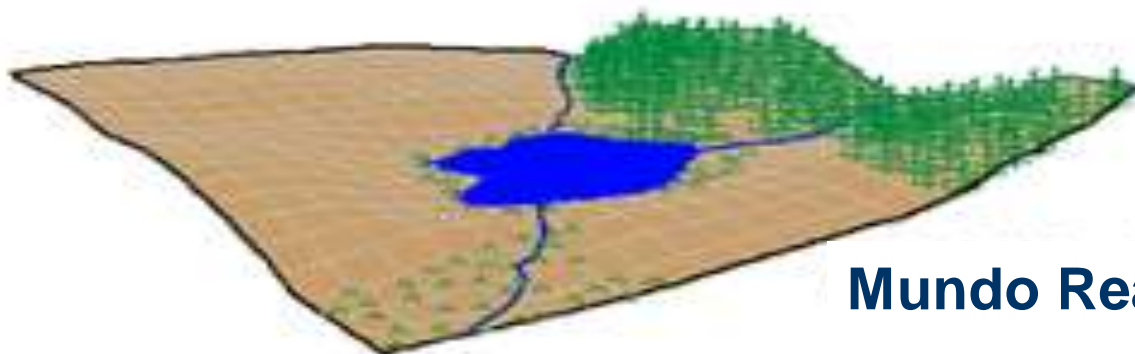


Estruturas Matriciais

- Grade regular sobre a qual se associa, célula a célula, o elemento que está sendo representado:
 - Matriz de células: $P(m,n)$
 - Índice espacial (i,j) para cada elemento
 - Cada célula, um ou mais valores



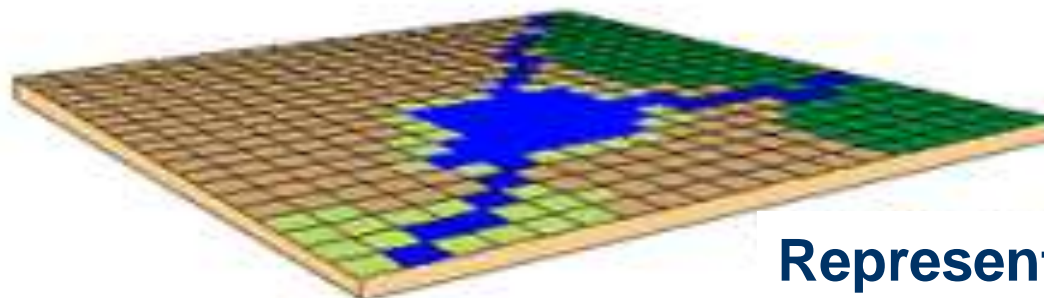
Representação Vetorial X Matricial



Mundo Real



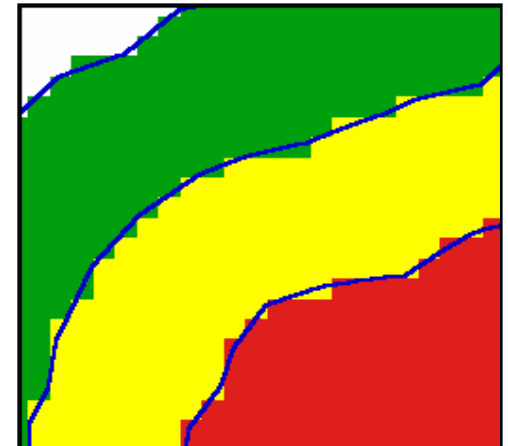
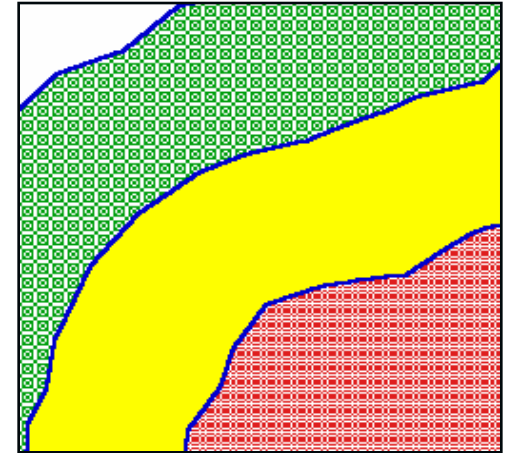
Representação Vetorial



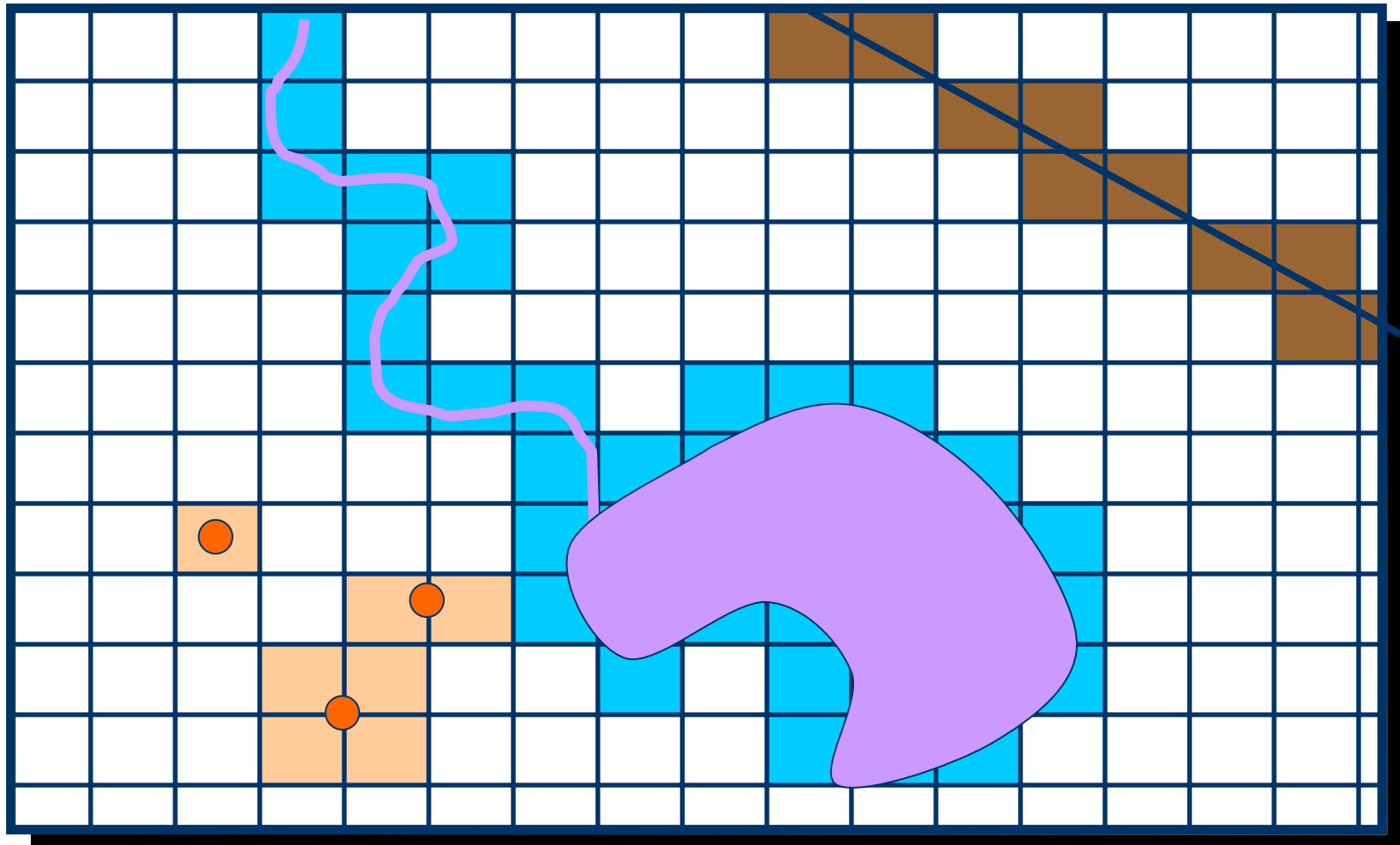
Representação Matricial

Representação Vetorial X Matricial

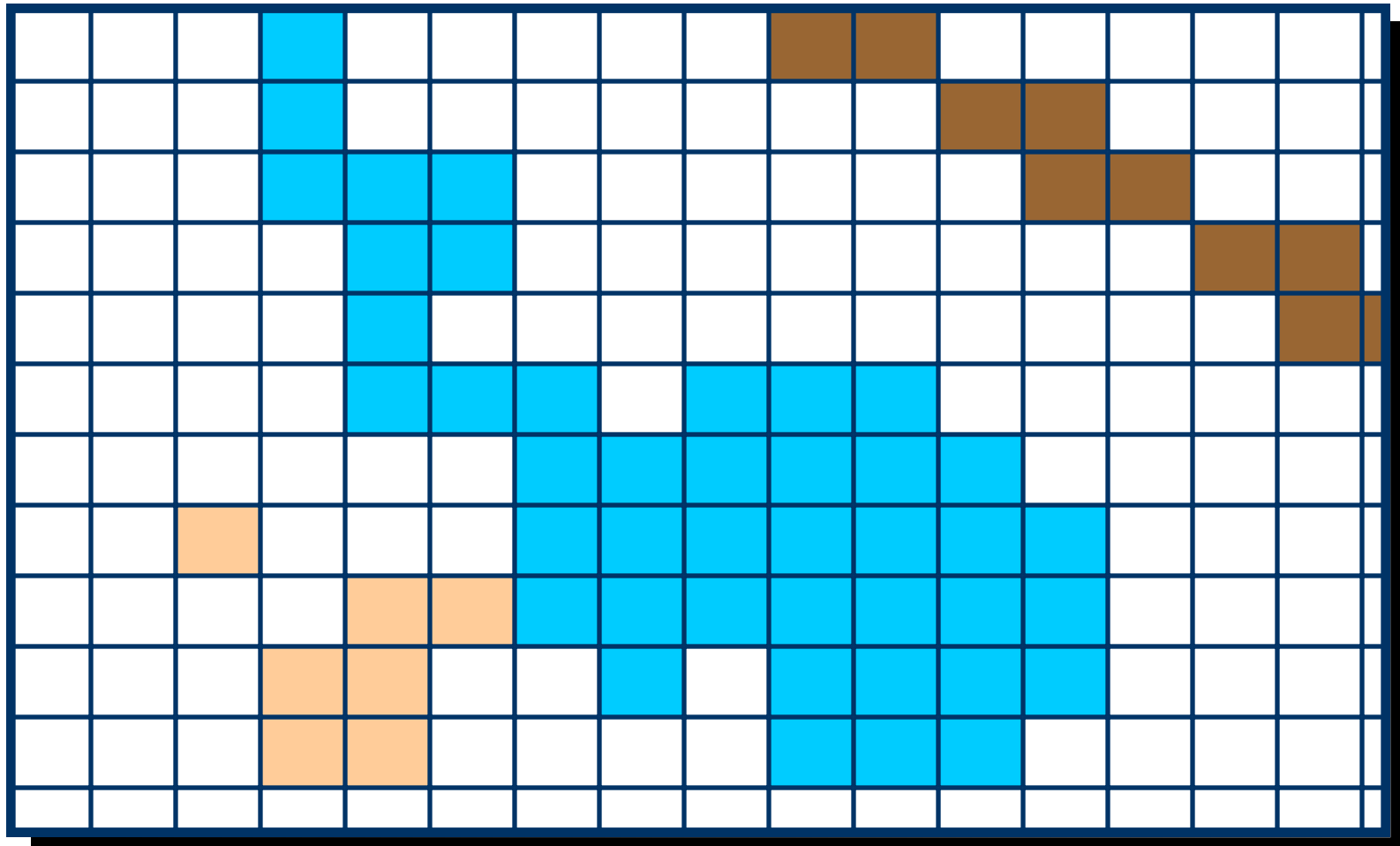
- Vetorial
 - Objetos descontínuos
 - Preserva relacionamentos topológicos
 - Associar atributos a elementos gráficos
 - Eficiência de armazenamento
- Matricial
 - Processos contínuos
 - Fenômenos variantes no espaço
 - Adequado para simulação e modelagem



Conversão Vetorial → Matricial



Representação Matricial



Consultas Espaciais: Seleção Espacial

- Dados um conjunto de objetos espaciais D e um predicado de seleção espacial p sobre atributos espaciais dos objetos em D , determine todos os objetos em D cujas geometrias satisfazem p .



Seleção por ponto



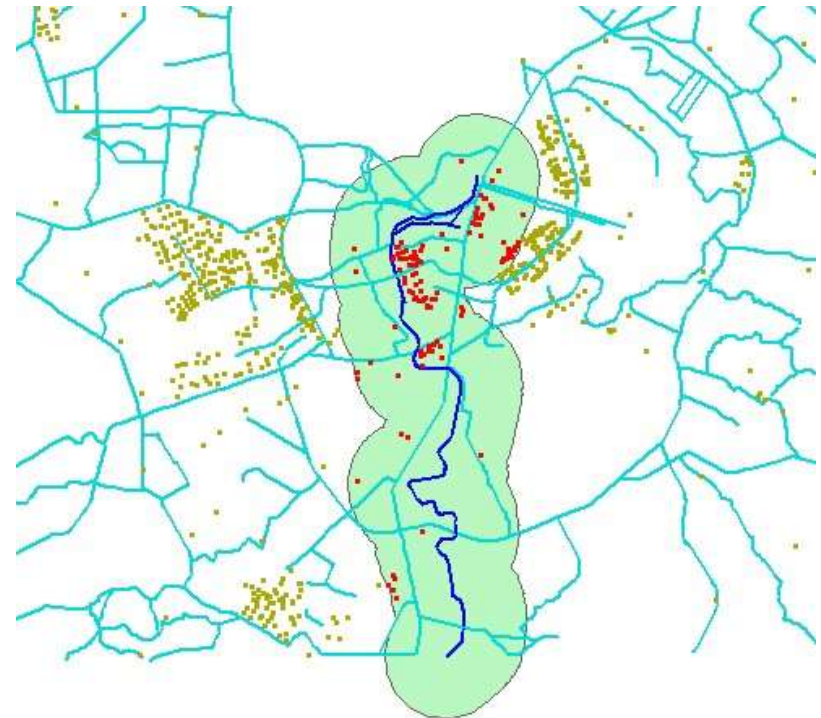
Seleção por região



Seleção por janela

Consultas Espaciais: Junção Espacial

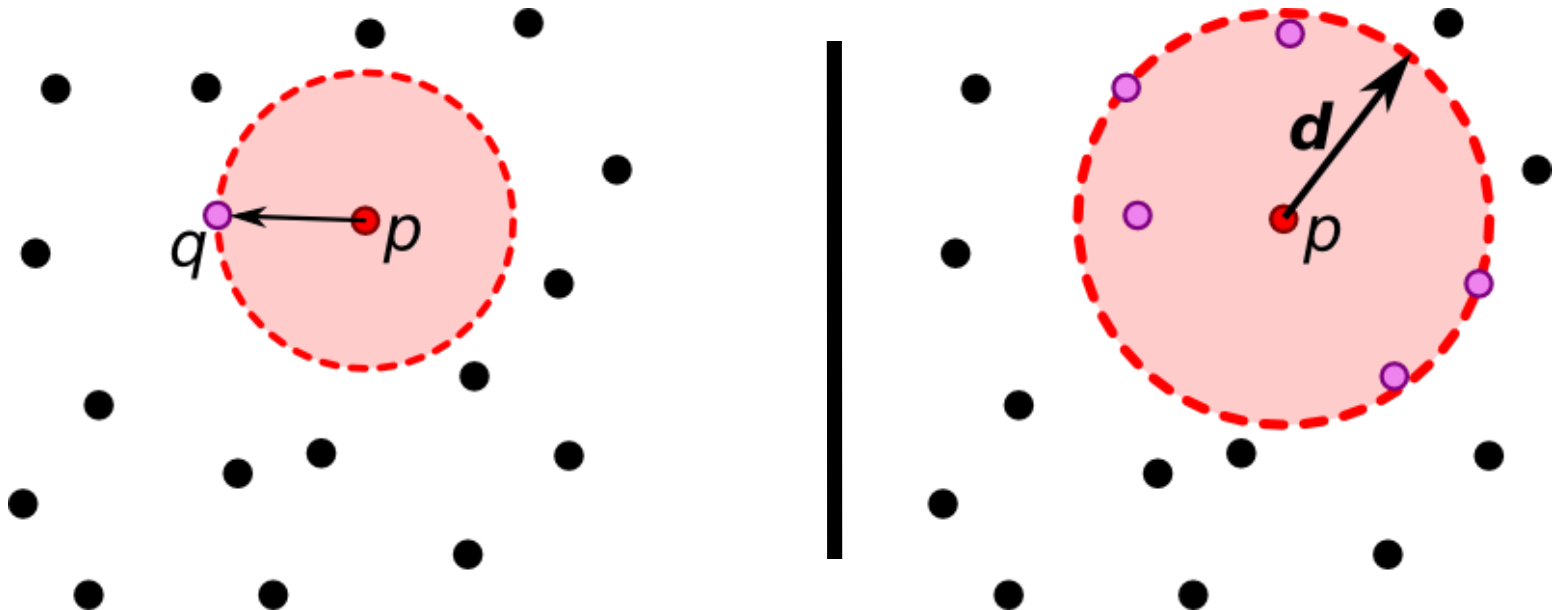
- Dados dois conjuntos de objetos espaciais D_1 e D_2 e um predicado de seleção espacial θ determine todos os pares $(d_1, d_2) \in D_1 \times D_2$ cujas geometrias satisfazem θ .
 - Ex. Para cada rodovia selecione as escolas que estão a menos de 1000 metros.



Fonte: Karine Ferreira (2006)

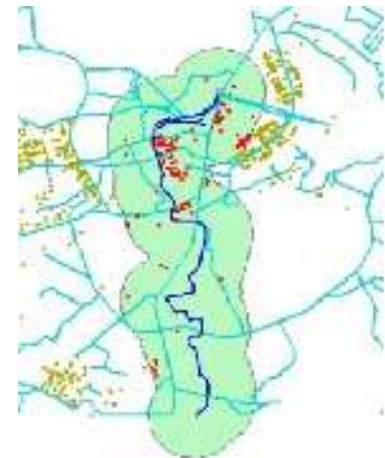
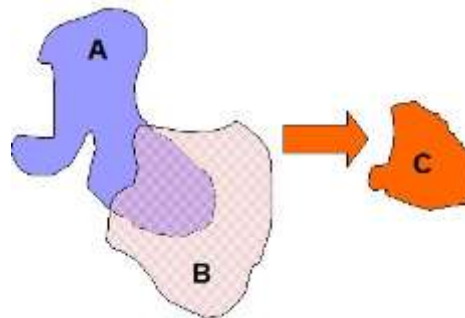
Consultas Espaciais: Vizinhança

- Vizinho mais próximo:
 - Definição: Localizar o(s) objeto(s) q mais próximo(s) de um dado objeto p
- Vizinho(s) mais próximo(s) a uma certa distância:
 - Definição: Localizar o(s) objeto(s) q mais próximo(s) de um dado objeto p , a uma distância máxima de d unidades

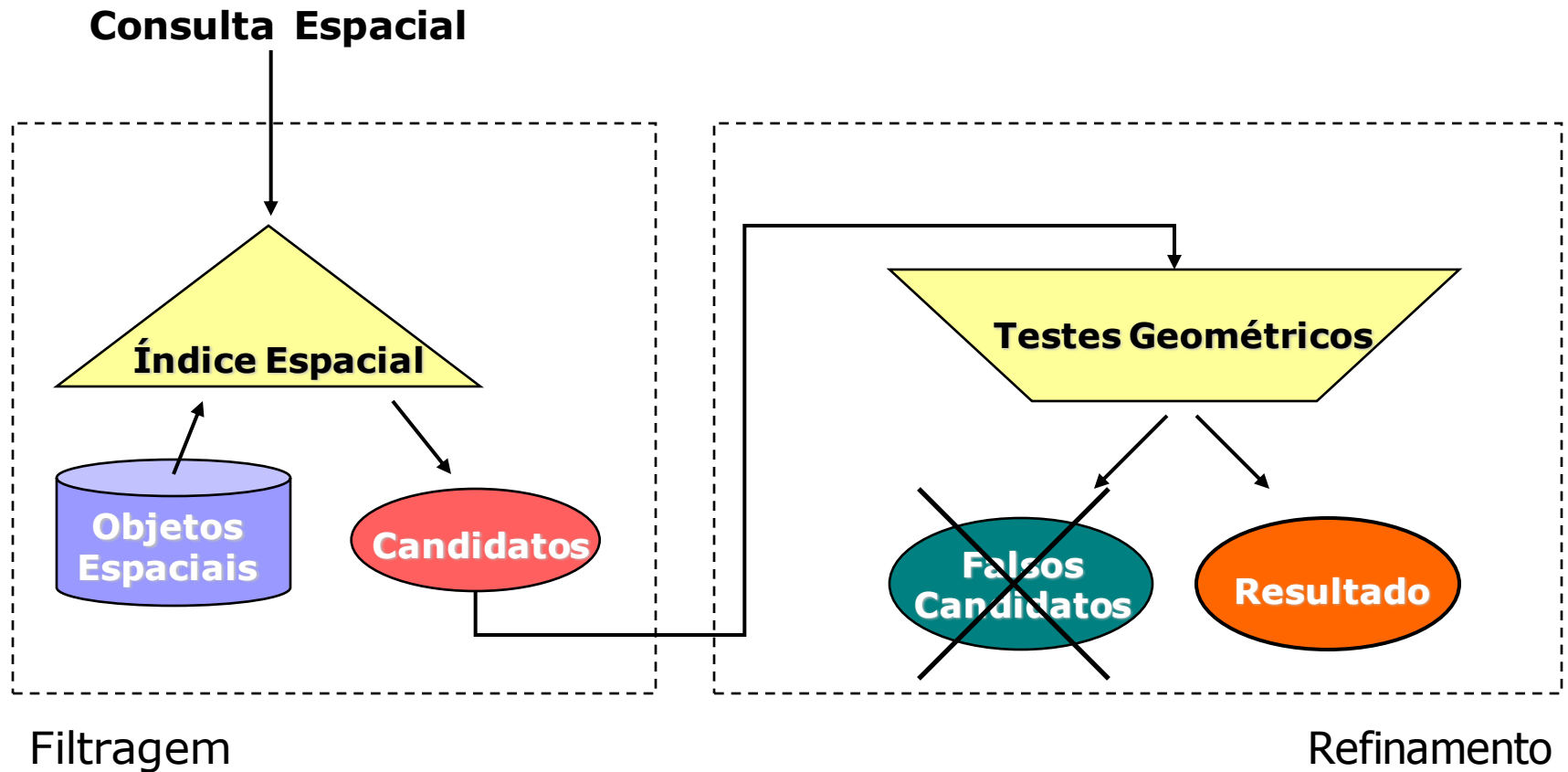


Operações Espaciais

- Topológicos:
 - Relacionamentos espaciais entre objetos: toca, cruza, contem,
- Conjunto:
 - Interseção, União, Diferença e Diferença Simétrica
- Métricos:
 - Comprimento, Área, Perímetro
- Criação de Novas Geometrias:
 - Centróide, Ponto sobre Superfície, *Buffer*, *Convex Hull*
- Operações Básicos sobre Geometrias:
 - Extent, IsValid



Processamento de Consultas Espaciais



Índices Espaciais

- Métodos de Acesso Multidimensionais
- Geralmente baseados em uma aproximação das geometrias – mínimo retângulo envolvente



Aproximação pelo ***Retângulo Envolvente Mínimo***
(REM ou Bounding Box ou MBR)

Fixed Grid

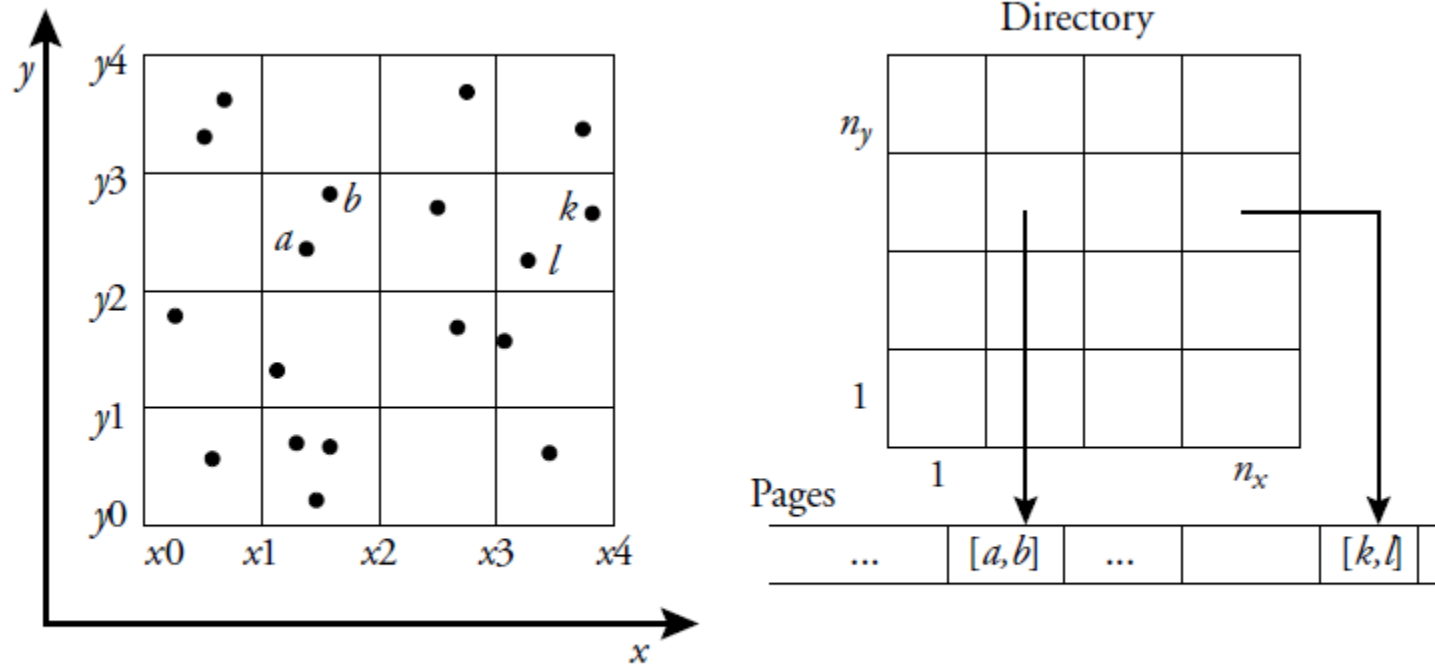


Figure 6.2 Fixed grid.

Fixed Grid

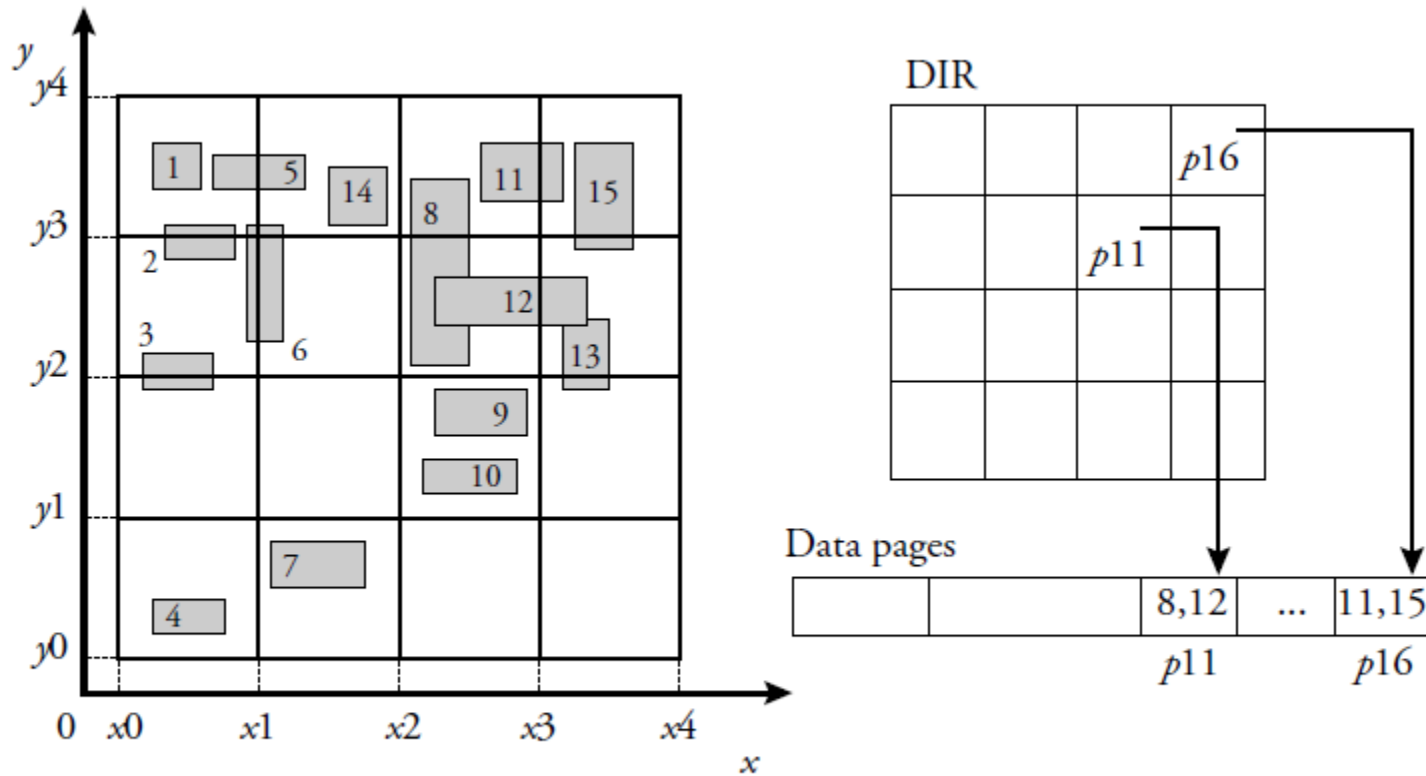


Figure 6.5 A fixed grid for rectangle indexing.

QuadTree

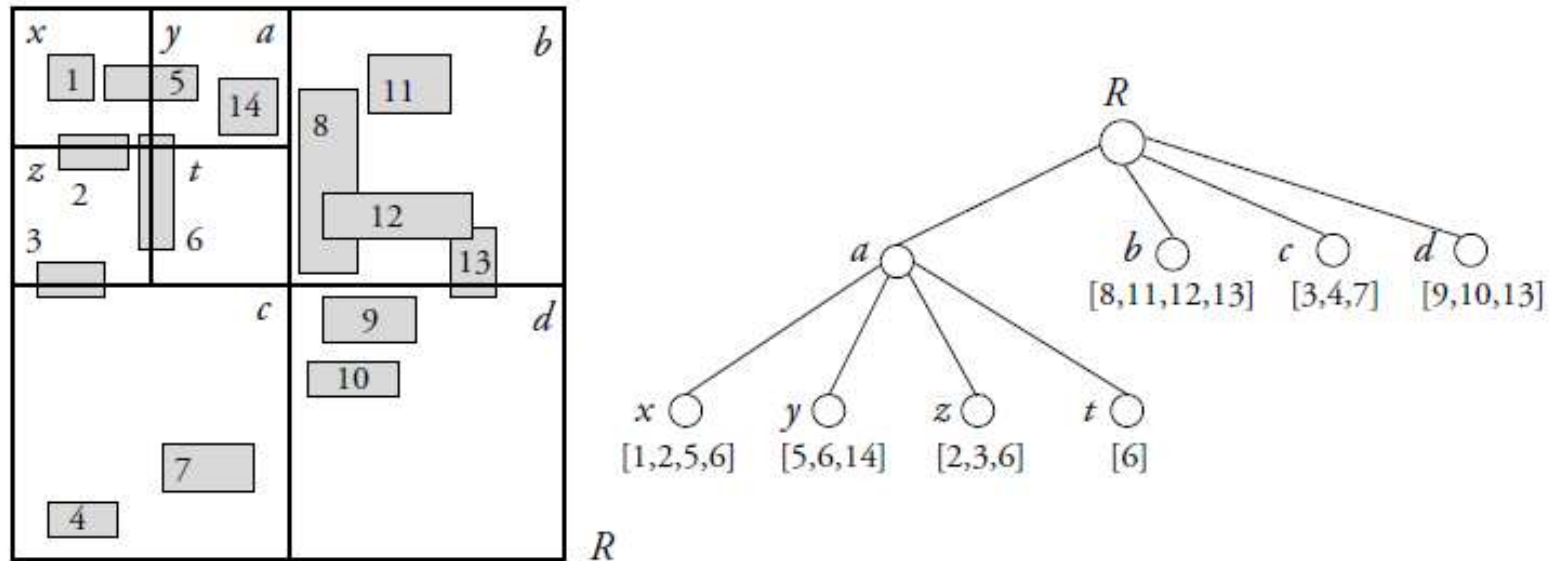


Figure 6.10 A quadtree.

- Árvore: cada “nó” ou “tronco” gera quatro “folhas”
- Cada nó corresponde a uma região quadrada do espaço
- Cada região é subdividida em quatro partes iguais sucessivamente até ter um ou nenhum objeto geográfico dentro de cada quadrante.

QuadTree

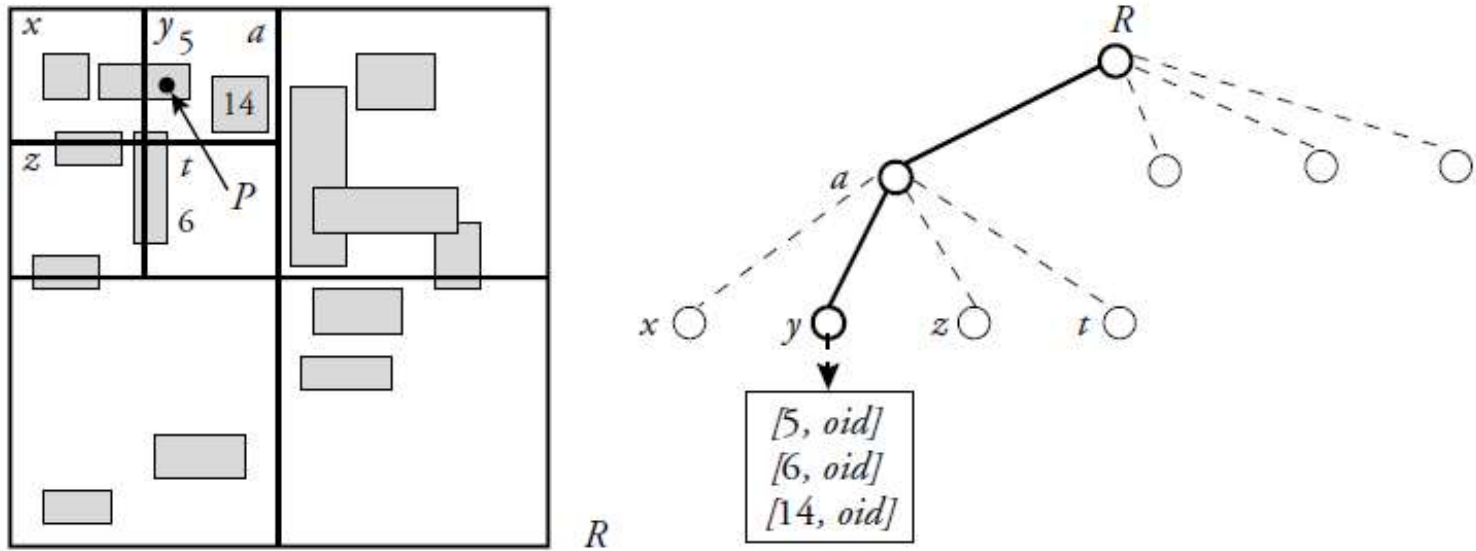


Figure 6.11 A point query on a quadtree.

RTree

- Árvore-R

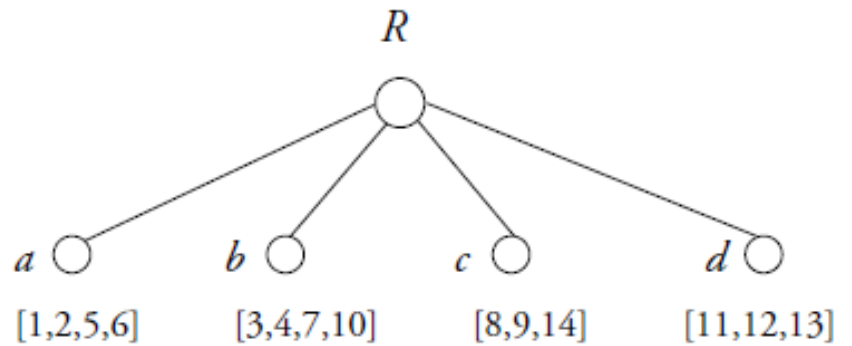
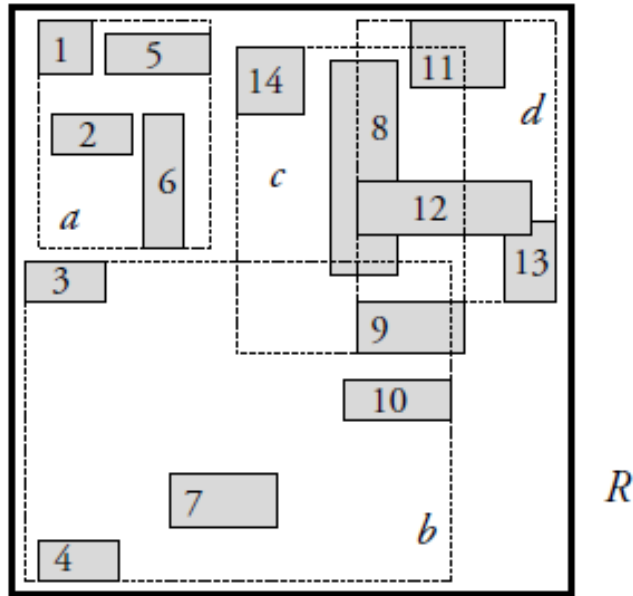


Figure 6.22 An R-tree.

RTree

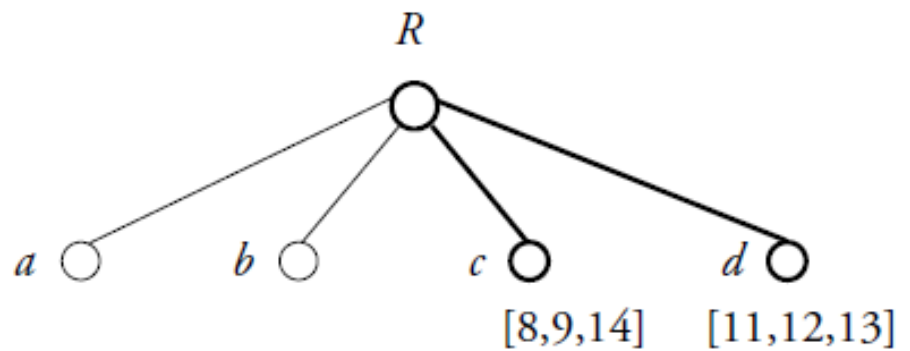
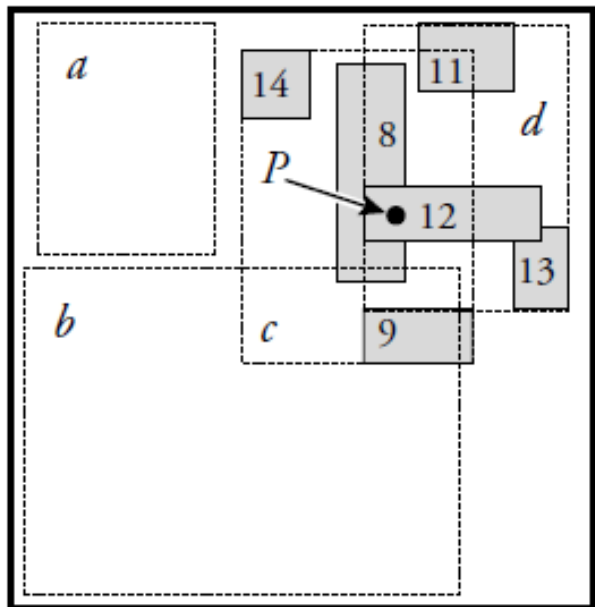


Figure 6.24 Point queries with R-trees.

Evolução dos SIGs

(1) Gerenciamento e utilização dos dados geográficos

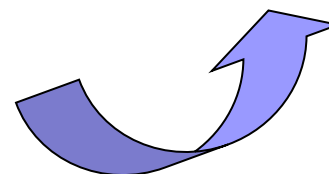
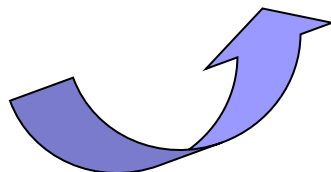
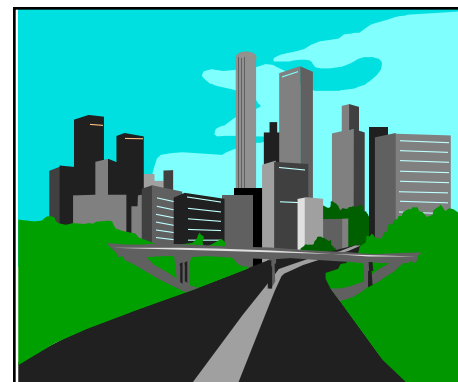
SIG “DeskTop”



SIG Distribuído
(multiusuários)



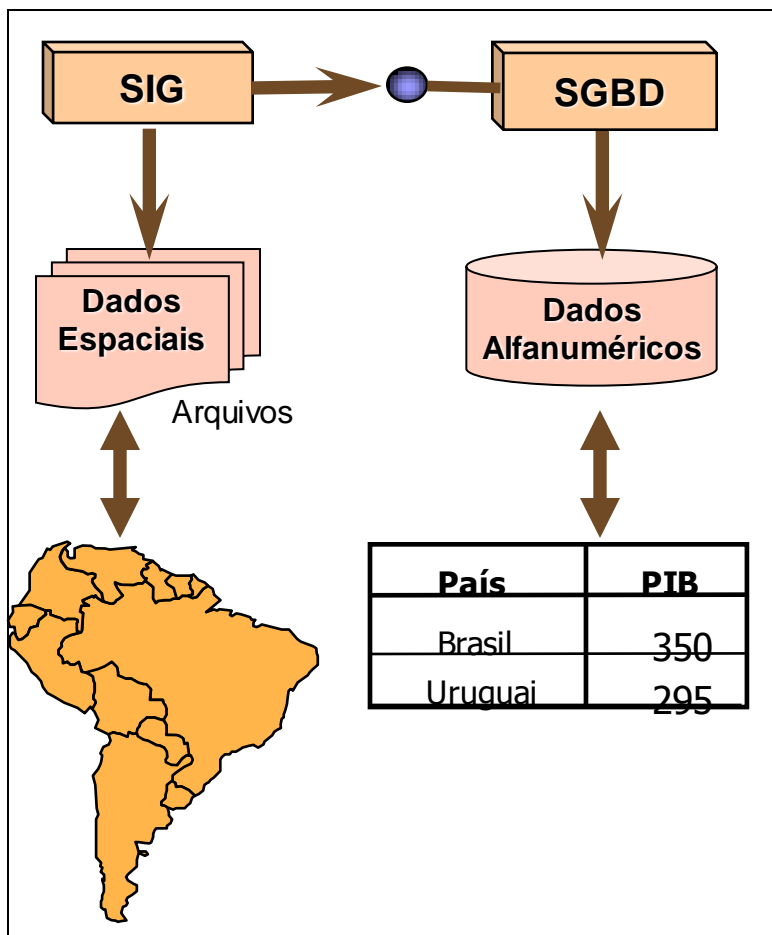
Servidores WEB



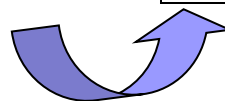
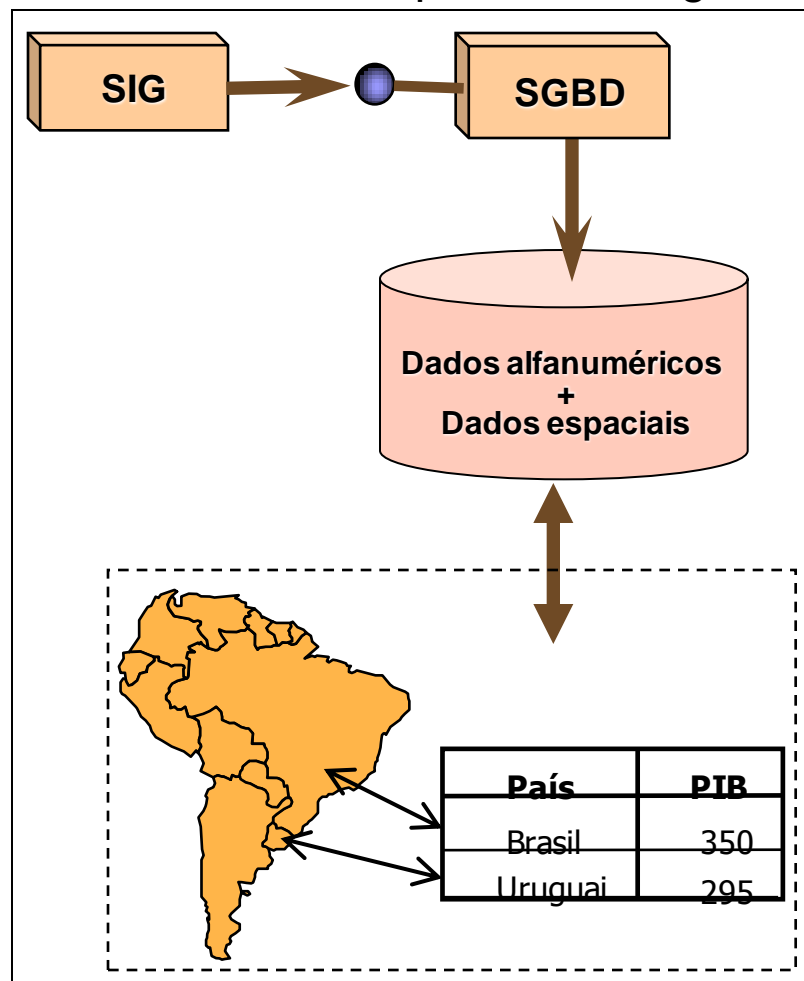
Evolução dos SIGs

(2) Armazenamento de dados geográficos

Arquitetura Dual



Arquitetura Integrada

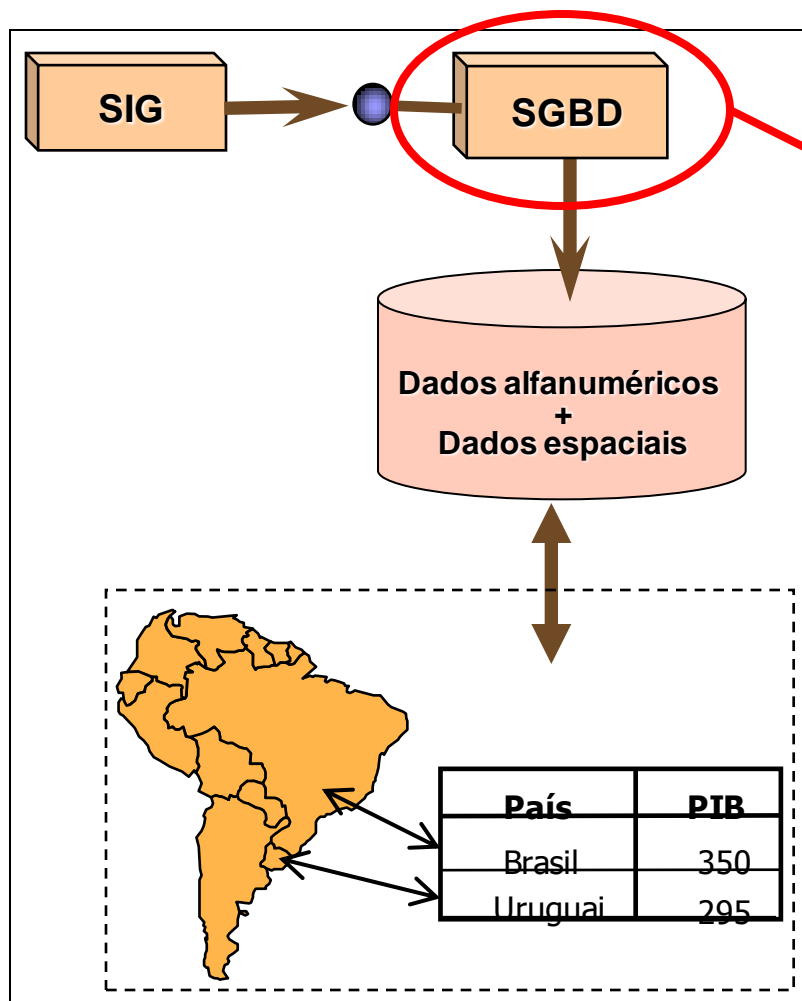




SIGs e SGBDs

- Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) estão evoluindo para utilizar Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) para armazenar e gerenciar dados geográficos:
 - A responsabilidade de gerenciamento dos dados geográficos passa a ser dos SGBDs e não dos SIGs.
 - SGBDs tradicionais são estendidos para suportar dados espaciais.

SIGs e SGBDs



Os SGBDs objeto-relacionais são estendidos para tratar dados geográficos!

SGBD Relacional

■ Modelo de Dados Relacional

- Banco de dados é organizado em uma coleção de relações ou tabelas relacionadas entre si.

Aluno

MATRICULA	NOME	CURSOID
98765	João	MAT
67765	José	BIO
84562	Maria	ENG
34256	Luis	INFO
3452672	Ana	MAT
34529	Luana	MAT

Curso

CURSOID	TITULO	DURAÇÃO
INFO	Informática Indust.	4
BIO	Biologia	4
ENG	Engenharia Civil	5
MAT	Licenciatura Mat.	4

SGBD Objeto-Relacional

- Modelo de Dados Objeto-Relacional:
 - É uma extensão do Modelo Relacional com conceitos da modelagem Orientada por Objeto.
 - Combina os benefícios dos dois modelos.

- Fornecem suporte para:
 - Criar objetos complexos
 - Executar consultas avançadas sobre dados complexos

- A linguagem de consulta OR é uma extensão da linguagem SQL para suportar o modelo de objetos






SGBD Objeto-Relacional

Exemplo: Oracle

```
CREATE TYPE SDO_GEOMETRY AS OBJECT (  
  SDO_GTYPE      NUMBER,  
  SDO_SRID       NUMBER,  
  SDO_POINT      SDO_POINT_TYPE,  
  SDO_ELEM_INFO  SDO_ELEM_INFO_ARRAY,  
  SDO_ORDINATES  SDO_ORDINATE_ARRAY);
```

```
CREATE TABLE Estados (  
  SIGLA  VARCHAR(2)  
  POP    NUMBER(10,10)  
  GEOM   SDO_GEOMETRY)
```

Estados

SIGLA	POP	GEOM
MG	222222	
RJ	333333	
SP	444444	



Extensão Espacial

- SGBD-OR são estendidos para suportar:
 - Tipos de dados espaciais: polígono, ponto, linha, raster, etc;
 - Operadores e funções utilizados na SQL para manipular dados espaciais (consultas e junção)
 - Métodos eficientes de acesso aos dados espaciais

- Extensões existentes (seguem padrão OGC):
 - Comerciais
 - Oracle Spatial
 - IBM DB2 Spatial Extender
 - Livres
 - PostGIS
 - Extensão espacial para MySQL



Open Geospatial Consortium – OGC



- Consórcio formado por empresas, universidades e agências governamentais.
- Promover o desenvolvimento de padrões que facilitem a interoperabilidade entre sistemas envolvendo informação geo-espacial.
- Os produtos do trabalho do OGC são apresentados sob a forma de especificações de interfaces e padrões de intercâmbio.



Open Geospatial Consortium – OGC

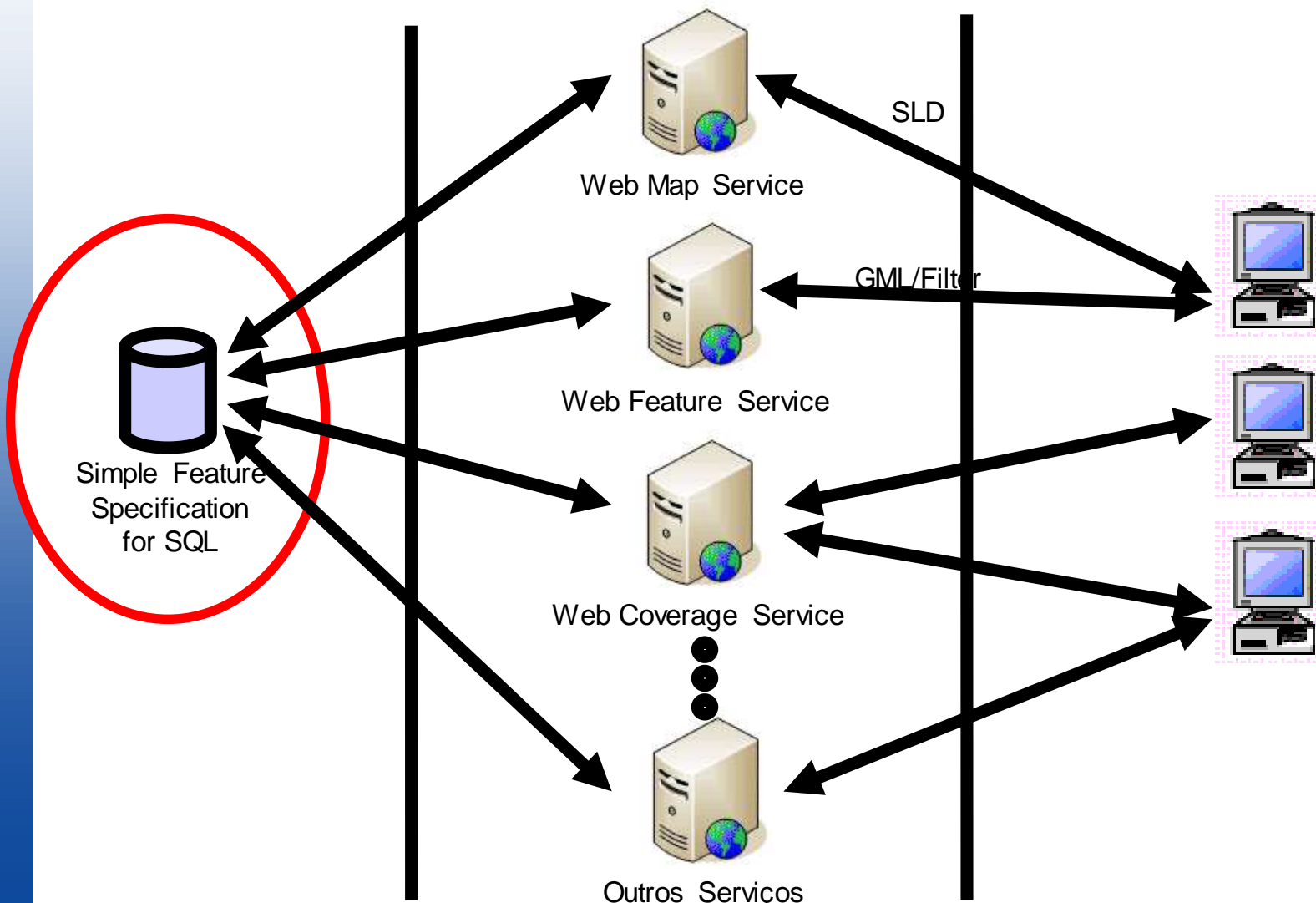
- Algumas especificações OGC:
 - **SFS-SQL** (Simple Feature Specification For SQL): especificações sobre o armazenamento e recuperação de dados espaciais vetoriais em sistemas de bancos de dados.
 - **GML** (Geography Markup Language): intercâmbio de dados.
 - **OWS** (OGC Web Services): especificações de serviços WEB
 - WFS: Web Feature Service
 - WMS: Web Map Server

OGC: Panorama Geral

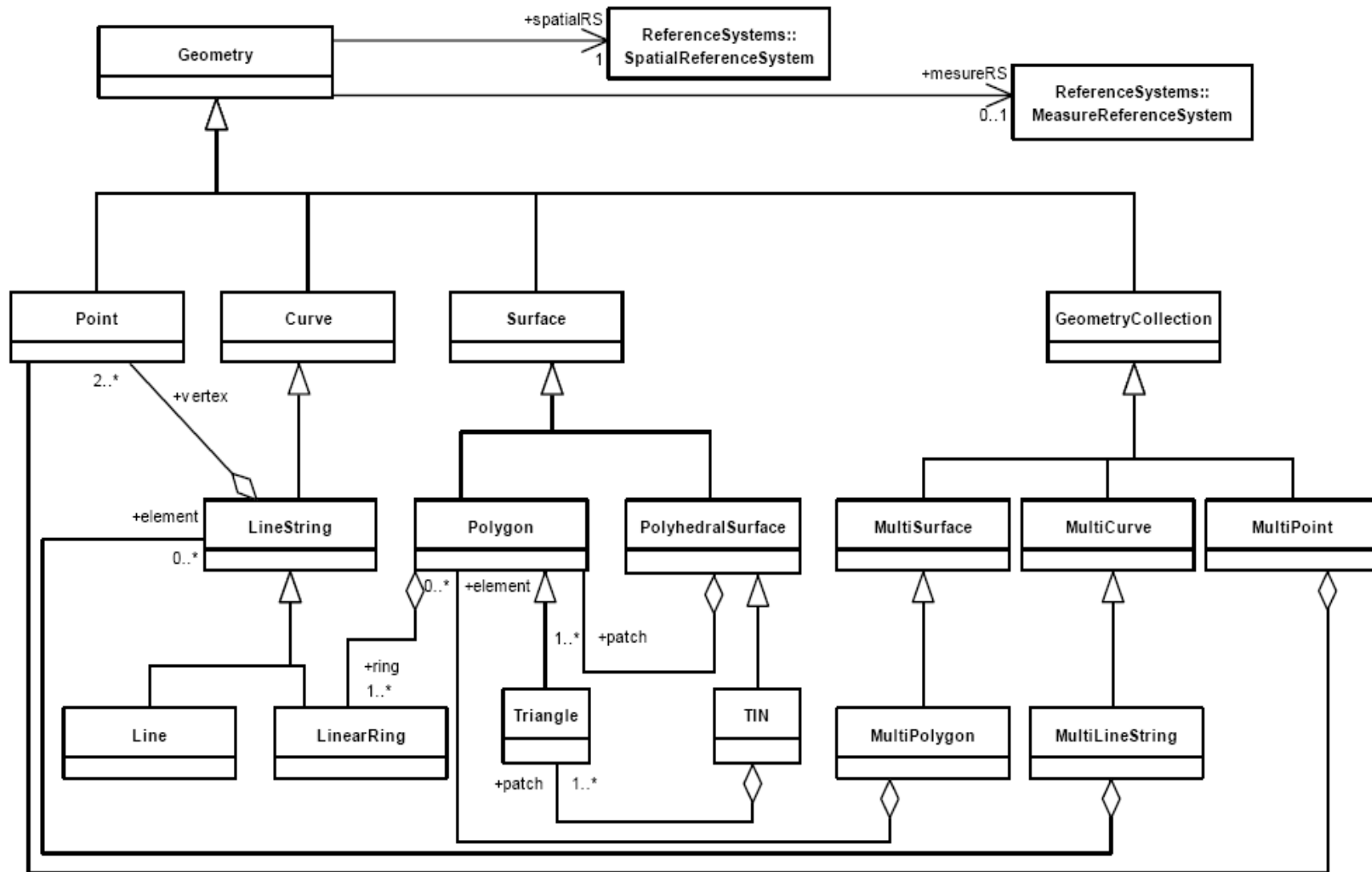
ARMAZENAMENTO

SERVIÇOS

APLICAÇÃO



SFS: Modelo Geométrico





SFS: Modelo Geométrico

- Tipos de geometrias vetoriais - exemplos:

- Criar uma tabela para armazenar os municípios de São Paulo:

```
CREATE TABLE municípiosp  
(cod          INTEGER,  
nomemunicp   VARCHAR(255) NULL,  
populacao    REAL  
geometria    POLYGON);
```

- Criar uma tabela para armazenar os rios de São Paulo:

```
CREATE TABLE drenagemsp  
( cod          INTEGER,  
numero        VARCHAR(255) NULL,  
geometria     LINESTRING);
```

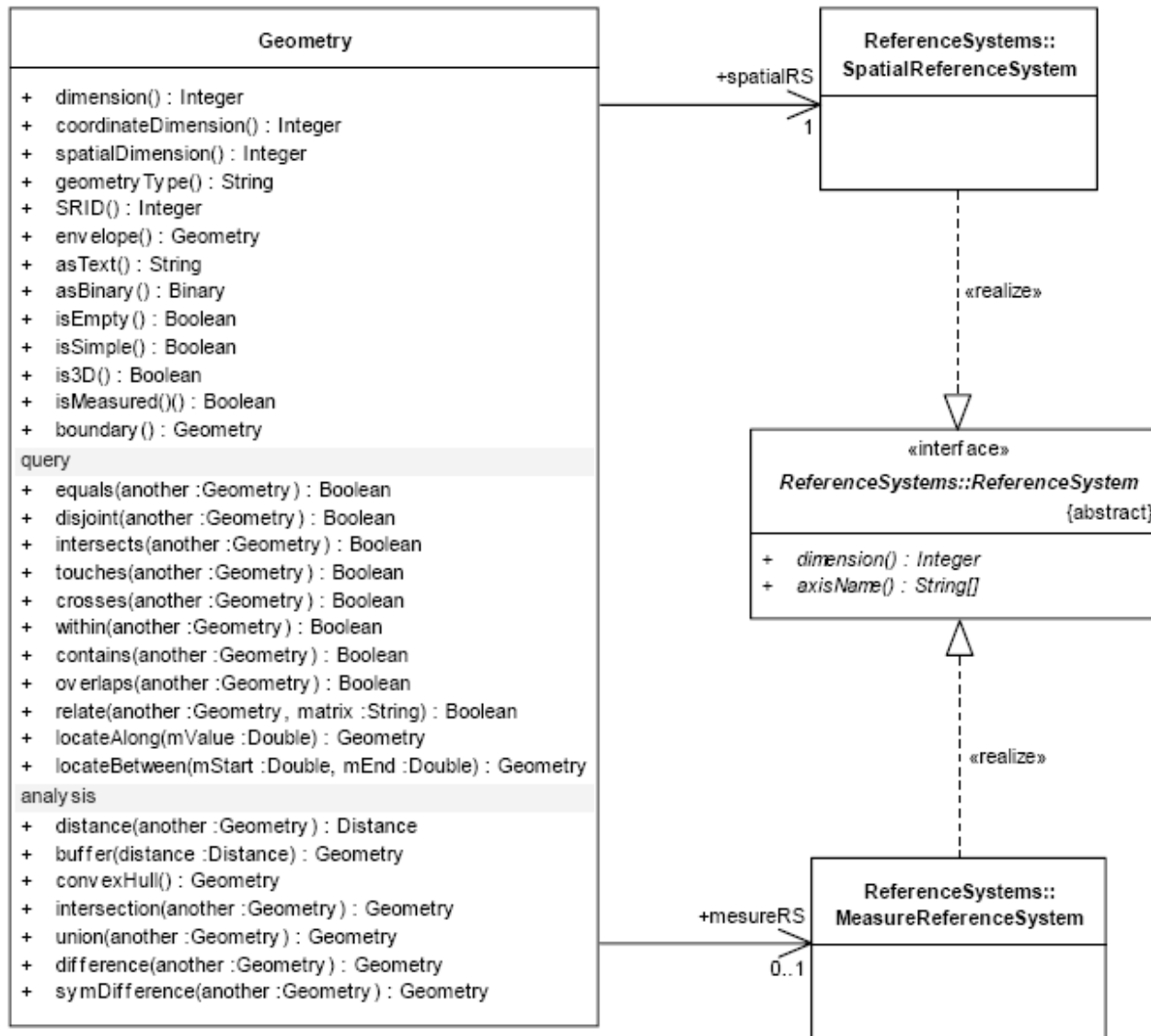


SFS: Modelo Geométrico

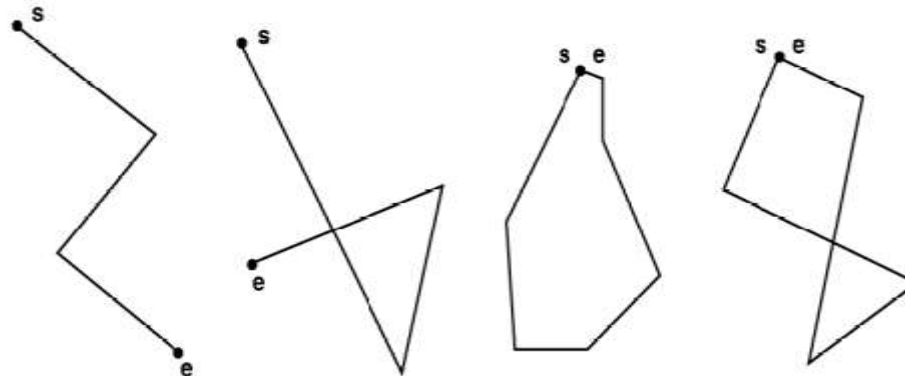
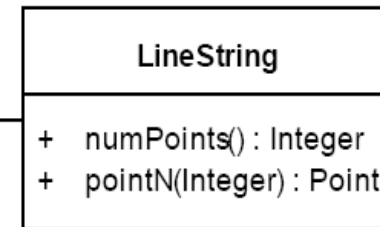
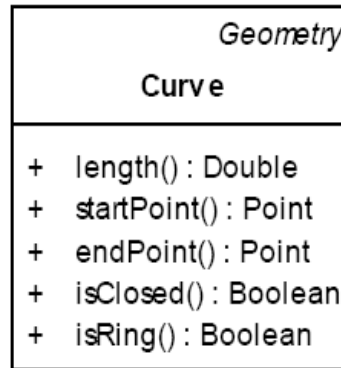
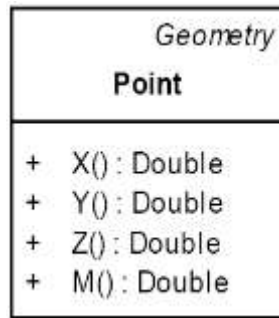
- Dimensionalidade da figura geométrica:
 - 0-dimensional: ponto
 - 1-dimensional: linha
 - 2-dimensional: polígono

Obs: não diz respeito ao espaço onde a figura está inserida!
- Dimensionalidade do espaço onde está inserida a figura geométrica:
 - 2D: plano cartesiano
 - 3D: espaço tridimensional
 - 2D+M: plano cartesiano com uma medida associada
 - 3D+M: espaço tridimensional com uma medida associada

SFS: Geometria



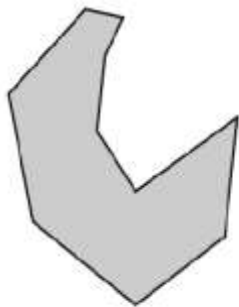
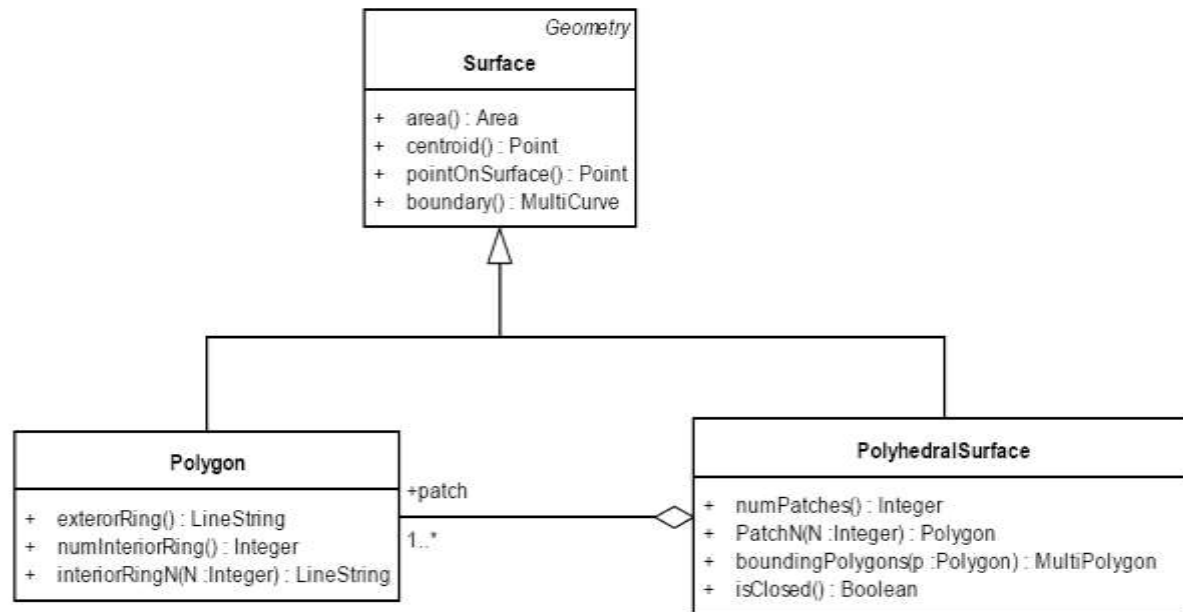
SFS: Ponto e Linha



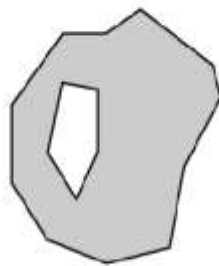
S: start
E: end

Figure 6: Examples of LineStrings
 Simple LineString (a),
 Non-simple LineString (b),
 Simple, closed LineString (a LinearRing) (c),
 Non-simple closed LineString (d)

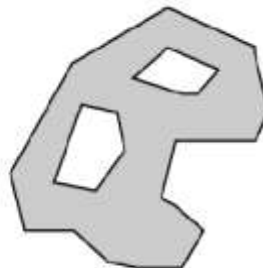
SFS: Polígono



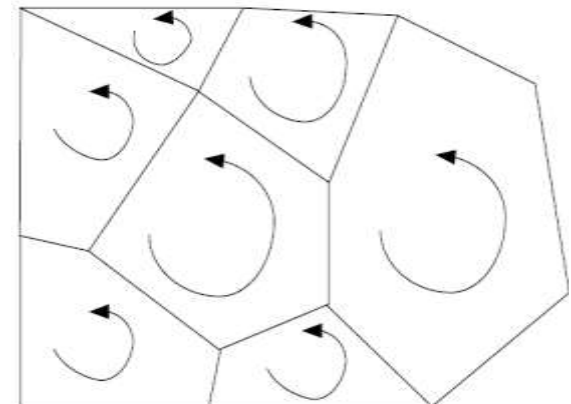
a)



b)



c)



SFS: Polígono

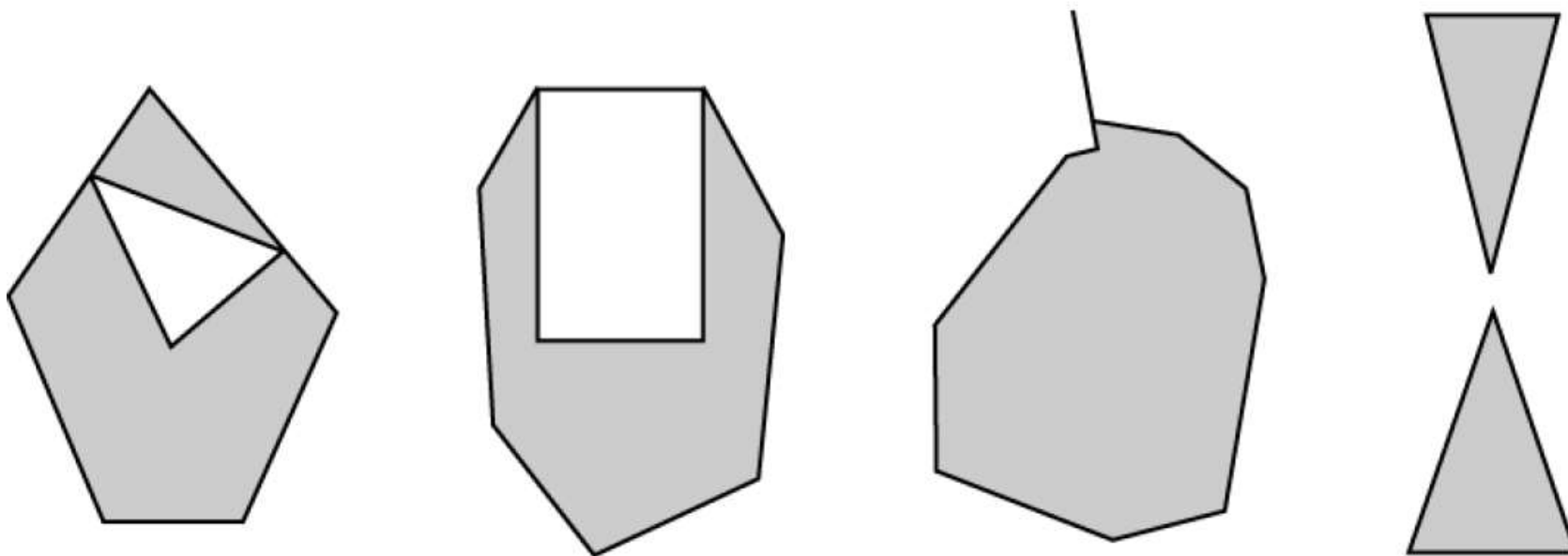
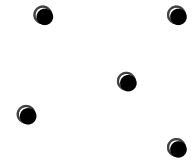
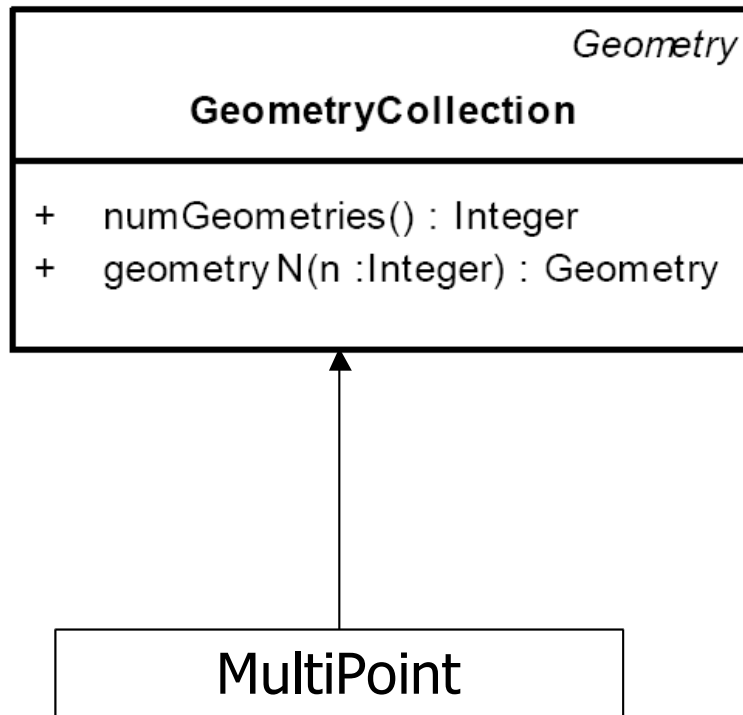
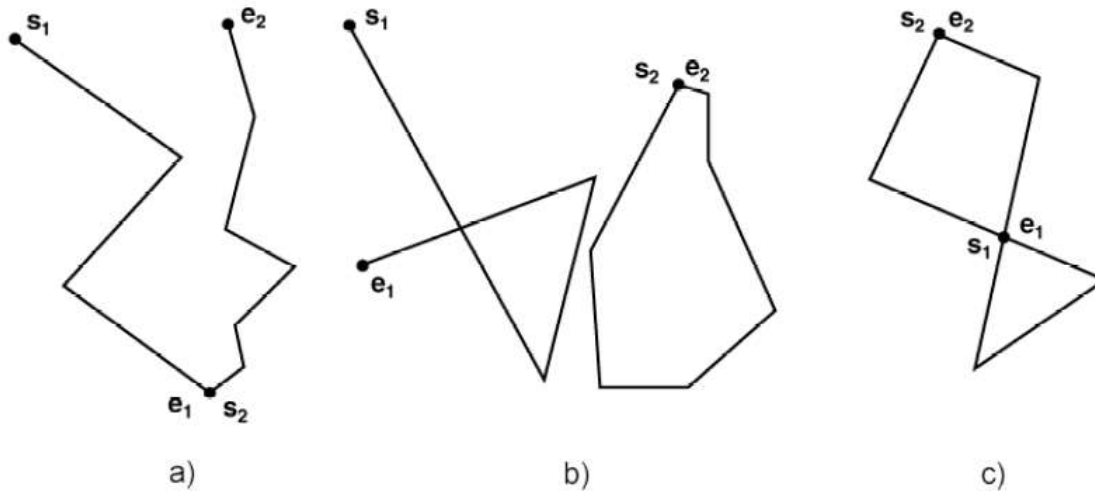
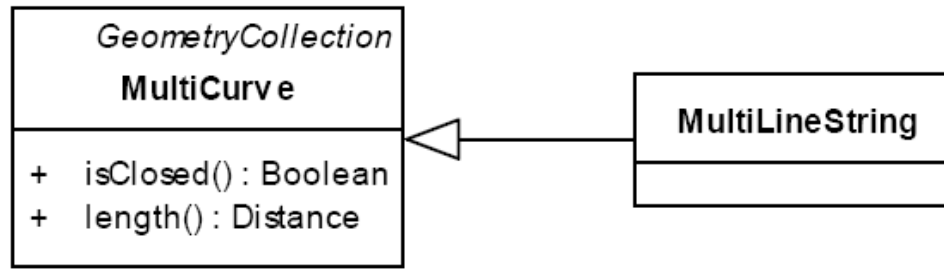


Figure 12: Examples of objects not representable as a single instance of Polygon

SFS: Coleções Homogêneas



SFS: Coleções Homogêneas



S: start
E: end

- (a) Simple MultiLineString,
- (b) Non-simple MultiLineString with 2 elements,
- (c) Non-simple, closed MultiLineString with 2 elements

SFS: Coleções Homogêneas

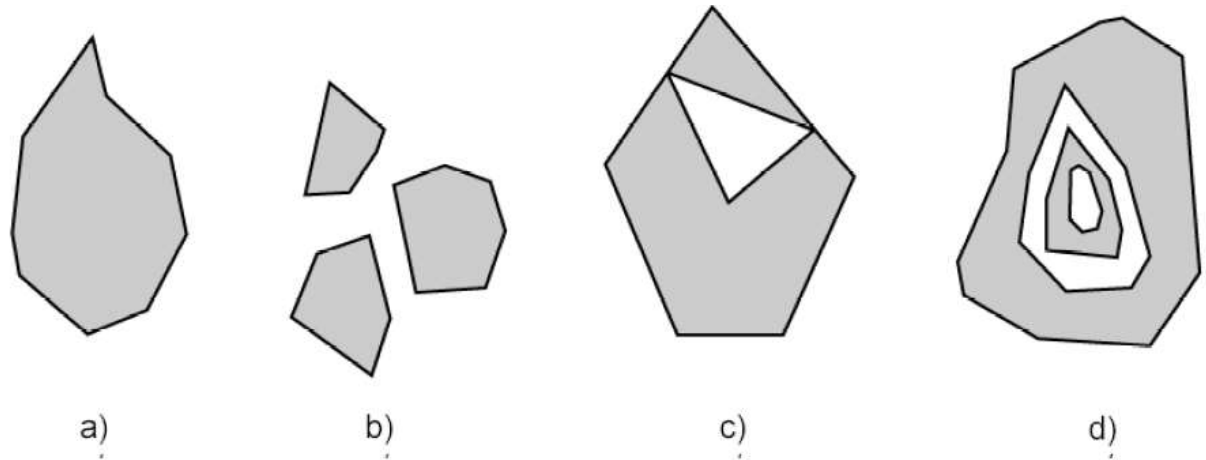
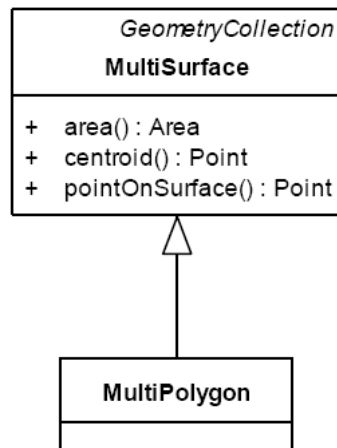


Figure 17: Examples of MultiPolygons with 1 (a), 3 (b), 2 (c) and 2 (d) Polygon elements

SFS: Coleções Homogêneas

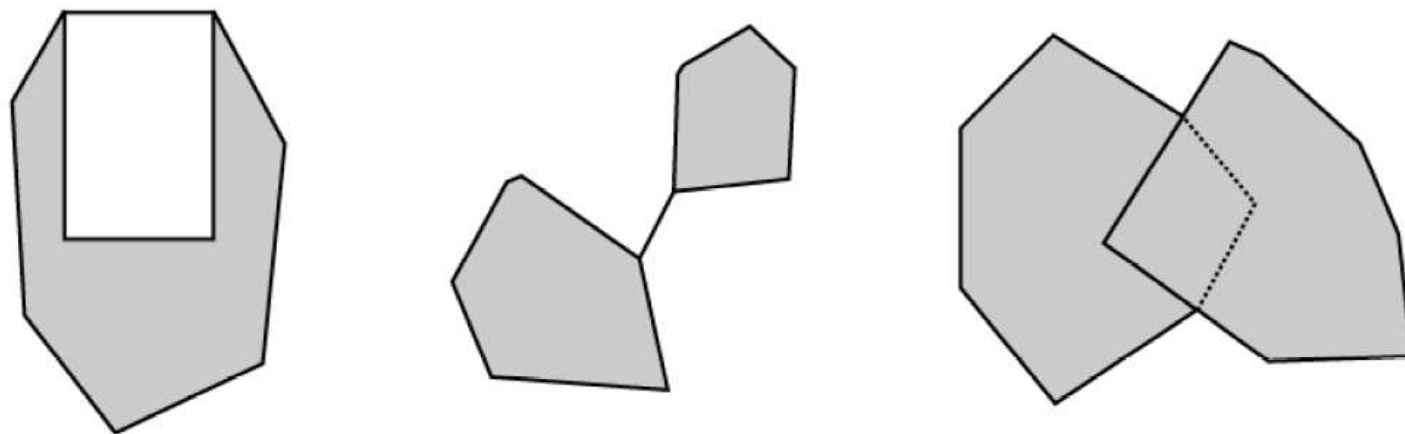


Figure 18: Geometric objects not representable as a single instance of a MultiPolygon



SFS: Coleções Heterogêneas

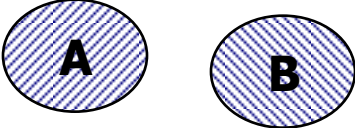
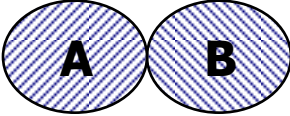
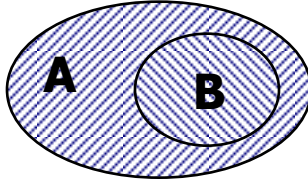
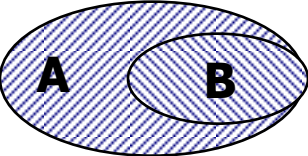

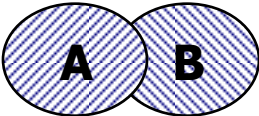
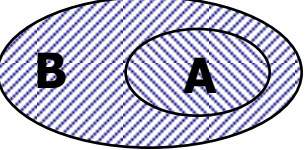
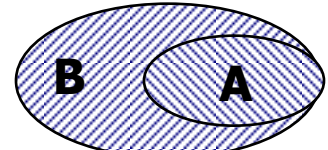
- São permitidas coleções heterogêneas como instâncias da classe GeometryCollection



SFS: Operadores Topológicos

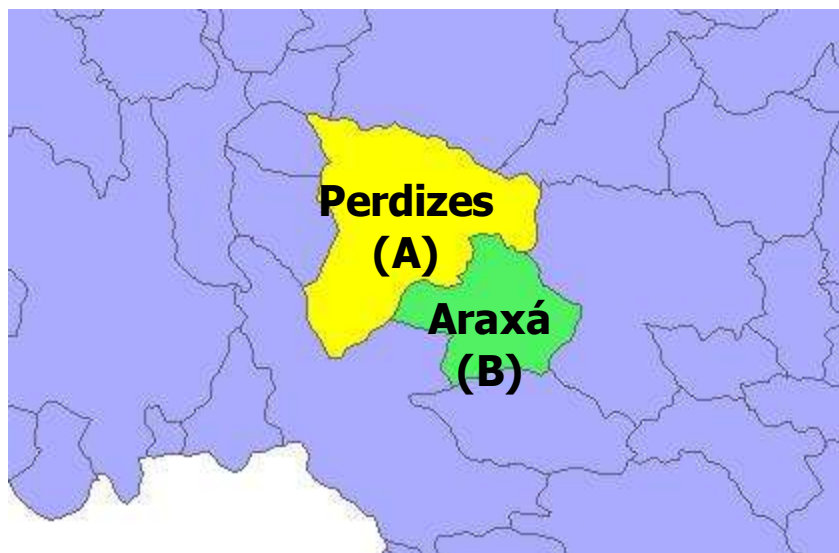
- Operadores topológicos baseados na matriz de 9-Interseções estendida dimensionalmente (DE-9IM) : touches, equals, overlaps, disjoint, intersects, contains, insides, covers, coveredBy.

Predicados topológicos: Matriz 9-Interseções

 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>disjoint</p>	 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>meet</p>	 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>contains</p>	 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>covers</p>
 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>equal</p>	 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>overlap</p>	 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>inside</p>	 $\begin{matrix} \partial B & B^\circ & B^- \\ \partial A \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ A^\circ \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ A^- \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p>covered by</p>

Fonte: Adaptado de Egenhofer e Herring (1991)

Predicados topológicos: Matriz 9-Interseções



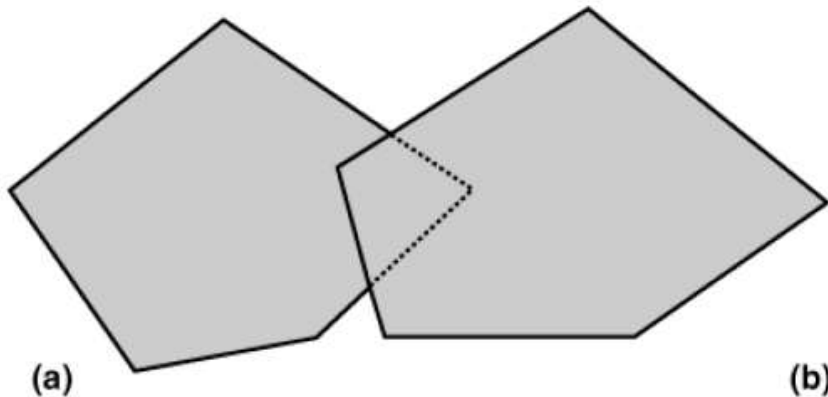
$$\begin{array}{l}
 \partial \mathbf{A} \\
 \mathbf{A}^{\circ} \\
 \mathbf{A}^{-}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \partial \mathbf{B} \quad \mathbf{B}^{\circ} \quad \mathbf{B}^{-} \\
 \left(\begin{array}{ccc}
 \neg \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\
 \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\
 \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset
 \end{array} \right)
 \end{array}
 \longrightarrow \text{TOCA}$$

Fonte: Gilberto Ribeiro (2006)

DE-9IM - Matriz de 9-Interseções estendida dimensionalmente

Table 1: The DE-9IM

	Interior	Boundary	Exterior
Interior	$dim(I(a) \cap I(b))$	$dim(I(a) \cap B(b))$	$dim(I(a) \cap E(b))$
Boundary	$dim(B(a) \cap I(b))$	$dim(B(a) \cap B(b))$	$dim(B(a) \cap E(b))$
Exterior	$dim(E(a) \cap I(b))$	$dim(E(a) \cap B(b))$	$dim(E(a) \cap E(b))$



- Dim = -1 => vazio
- Dim = 0 => ponto
- Dim = 1 => linha
- Dim = 2 => polígono.

	Interior	Boundary	Exterior
Interior	2	1	2
Boundary	1	0	1
Exterior	2	1	2



DE-9IM - Matriz de 9-Interseções estendida dimensionalmente

The pattern matrix consists of a set of nine pattern-values, one for each cell in the matrix. The possible pattern values of p are $\{T, F, *, 0, 1, 2\}$ and their meanings for any cell where x is the intersection set for the cell are as follows:

$$p = T \Rightarrow \dim(x) \in \{0, 1, 2\}, \text{ i.e. } x \neq \emptyset$$

$$p = F \Rightarrow \dim(x) = -1, \text{ i.e. } x = \emptyset$$

$$p = * \Rightarrow \dim(x) \in \{-1, 0, 1, 2\}, \text{ i.e. Don't Care}$$

$$p = 0 \Rightarrow \dim(x) = 0$$

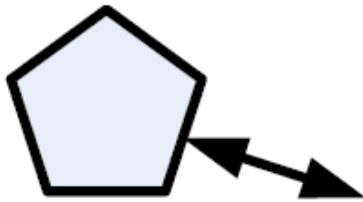
$$p = 1 \Rightarrow \dim(x) = 1$$

$$p = 2 \Rightarrow \dim(x) = 2$$

DE-9IM - Touches

$$\begin{aligned}
 a.Touch(b) \Leftrightarrow & a.Relate(b, "FT*****") \vee \\
 & a.Relate(b, "F**T*****") \vee \\
 & a.Relate(b, "F***T****")
 \end{aligned}$$

Polygon/LineString



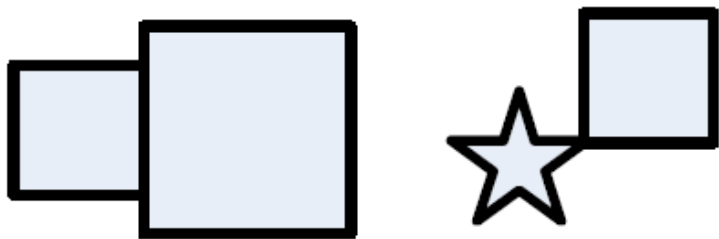
Polygon/Point



LineString/Point



Polygon/Polygon



LineString/LineString

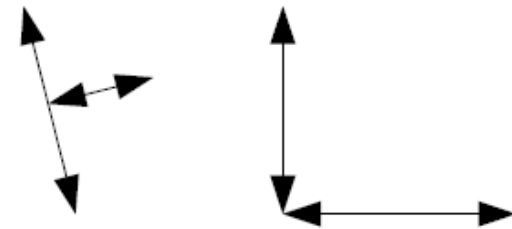


Figure 20: Examples of the Touches relationship

DE-9IM - Within

$a.Within(b) \Leftrightarrow a.Relate(b, "T^*F^{**}F^{***}")$

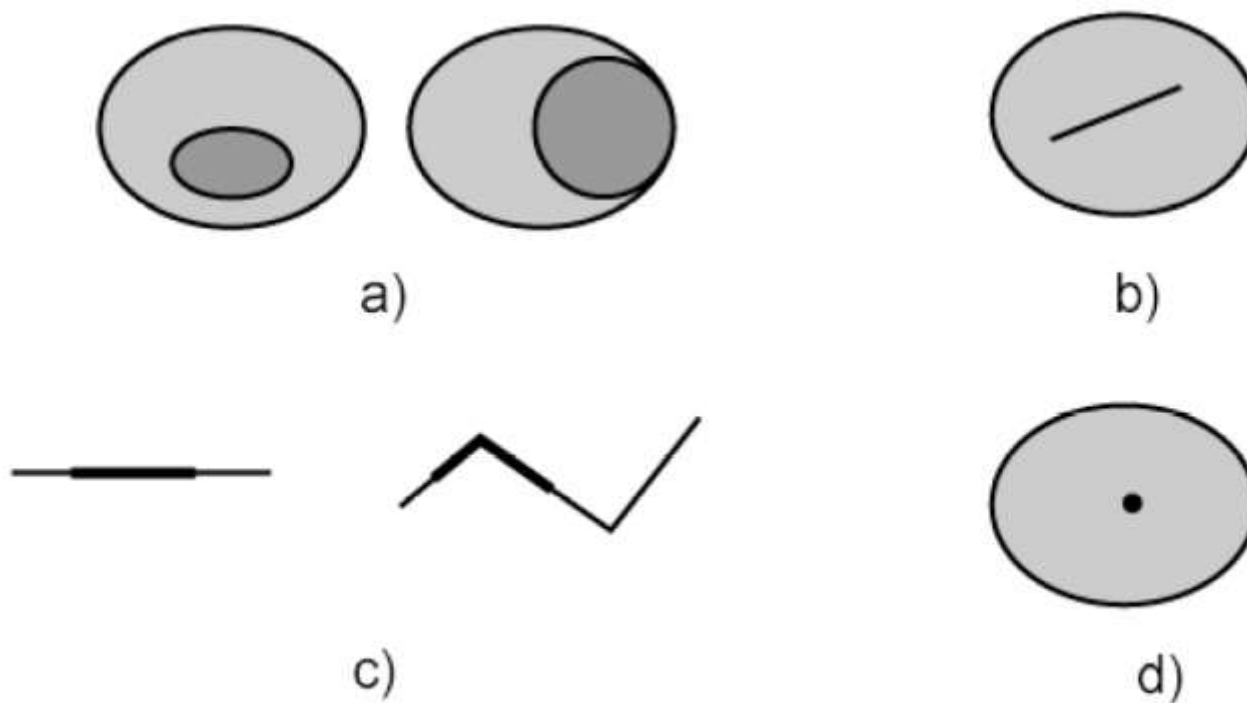
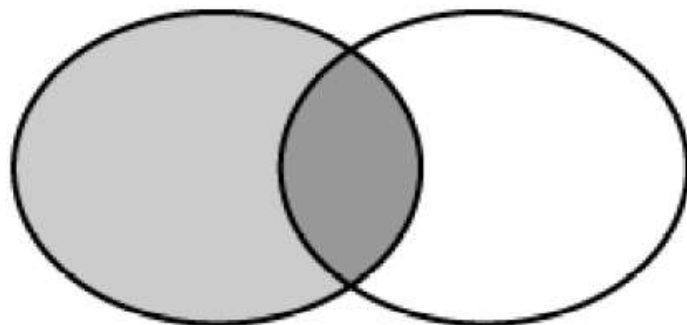


Figure 22: Examples of the "Within" relationship
 Polygon/Polygon (a), Polygon/LineString (b), LineString/LineString (c), and Polygon/Point (d)

DE-9IM - Overlaps



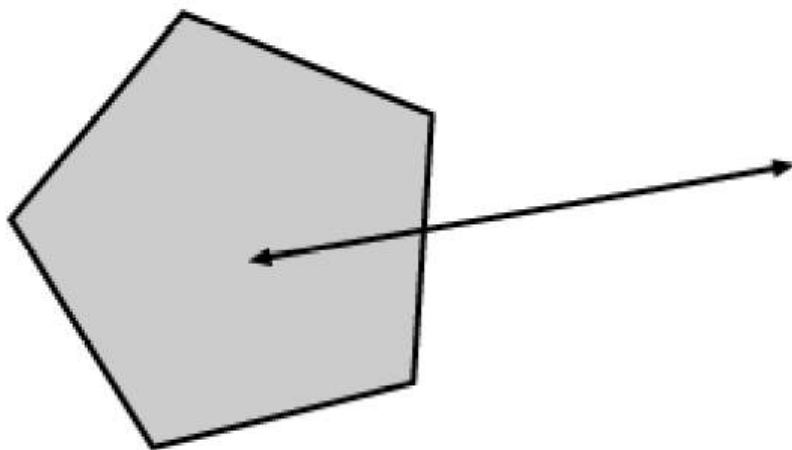
a)



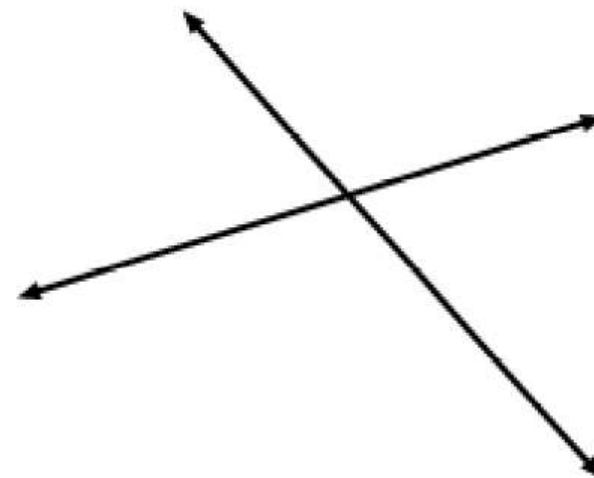
b)

**Figure 23: Examples of the Overlaps relationship
Polygon/LineString (a)
and LineString/LineString (b)**

DE-9IM - Crosses



a)



b)

Figure 21: Examples of the Crosses relationship
Polygon/LineString (a)
and LineString/LineString (b)



SFS: Outros Operadores

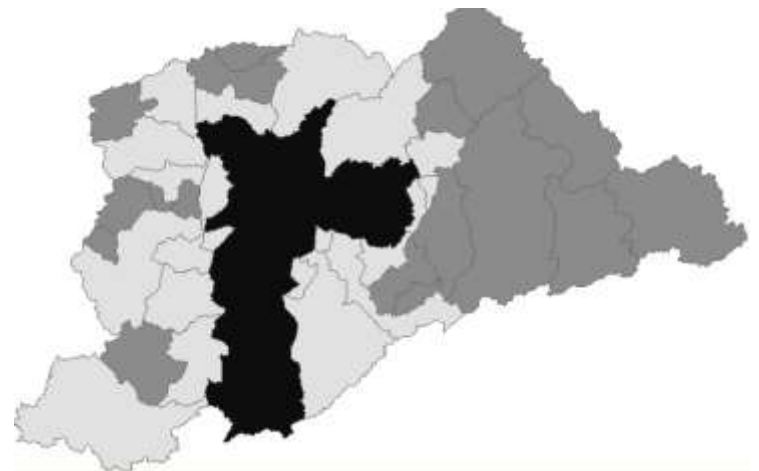
- Outros operadores: distance, buffer, convexHull, intersection, union, difference, area, centroid e pointOnSurface

SFS-SQL

■ Spatial SQL - Exemplos:

- Encontre todos os municípios de SP que são vizinhos do município de São Paulo:

```
SELECT d2.nomemunicp  
FROM municipiossp d1, municipiossp d2  
WHERE TOUCHES(d1.geometria, d2.geometria)  
AND (d2.nomemunicp <> 'SAO PAULO')  
AND (d1.nomemunicp = 'SAO PAULO');
```

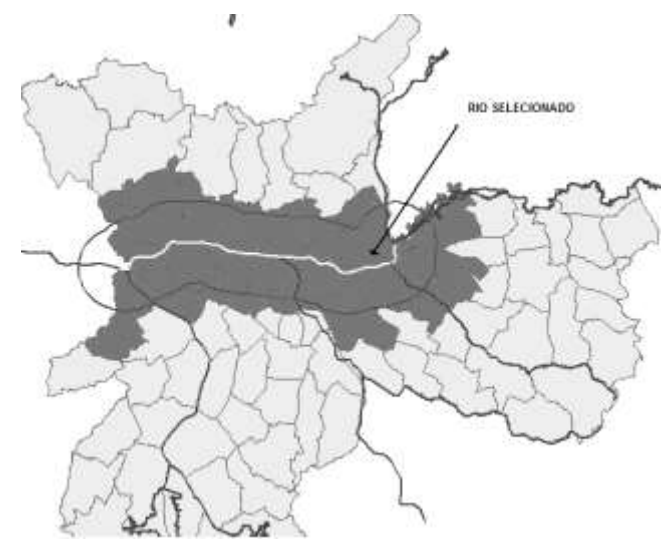


SFS-SQL

■ Spatial SQL - Exemplos:

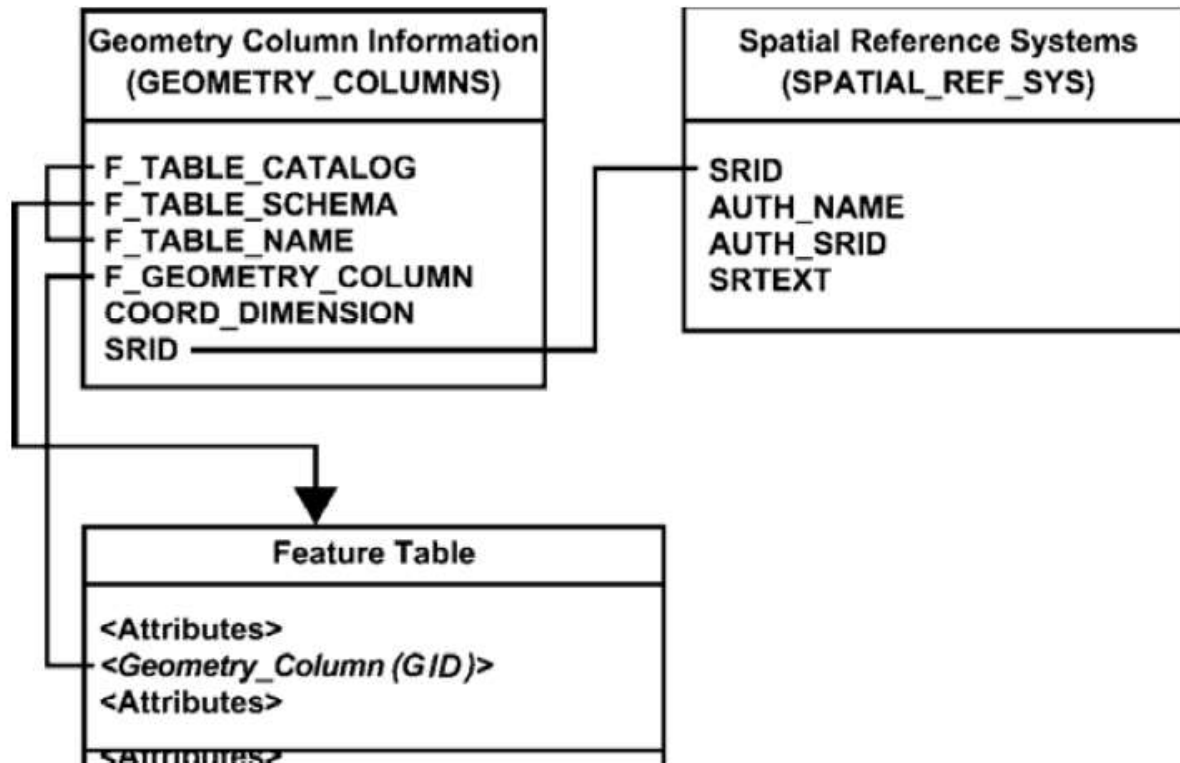
- Encontre todos os municípios de SP que estão num raio de 3Km do rio X:

```
SELECT nomemunicp
FROM      municpriosp, drenagemsp
WHERE     INTERSECTS
         (BUFFER(drenagemsp.geometria, 3000),
         municpriosp.geometria)
AND      drenagemsp.numerio = 'X';
```



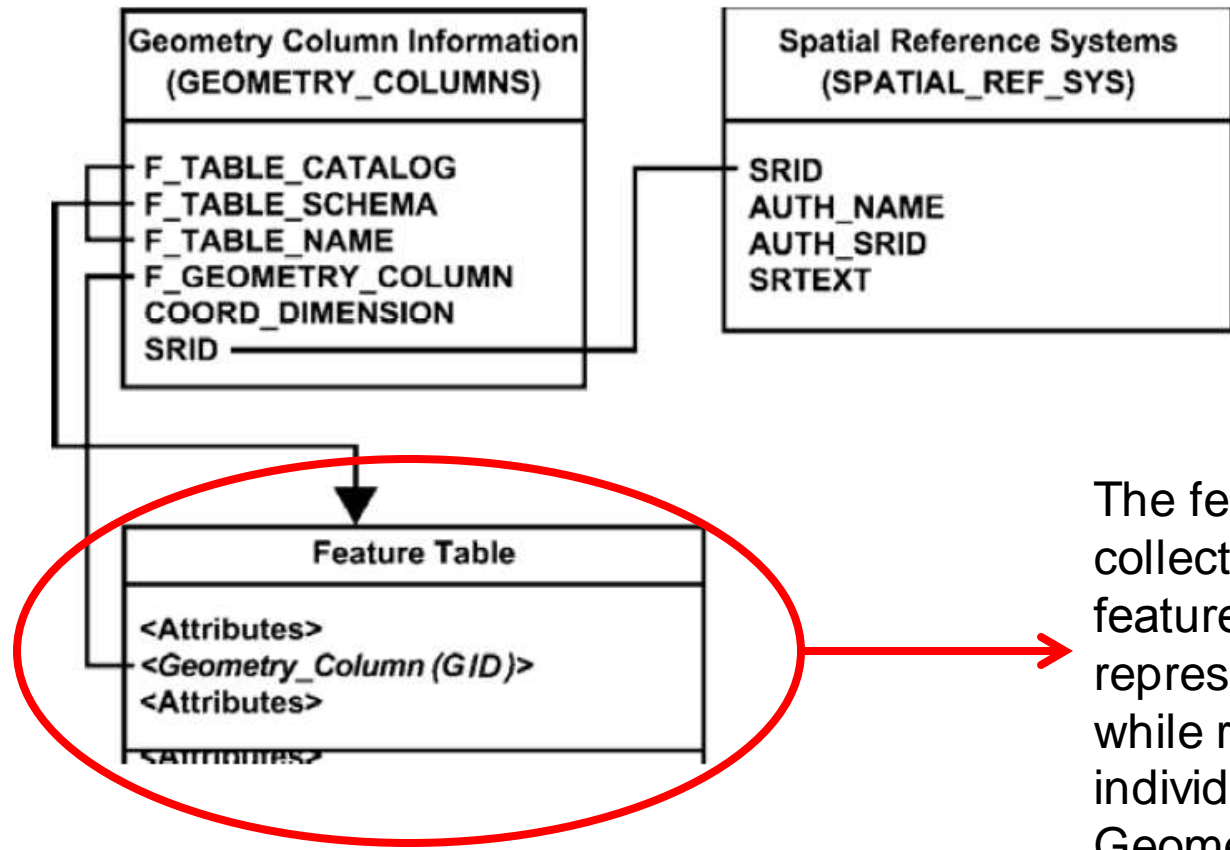


SFS-SQL – Metadata tables





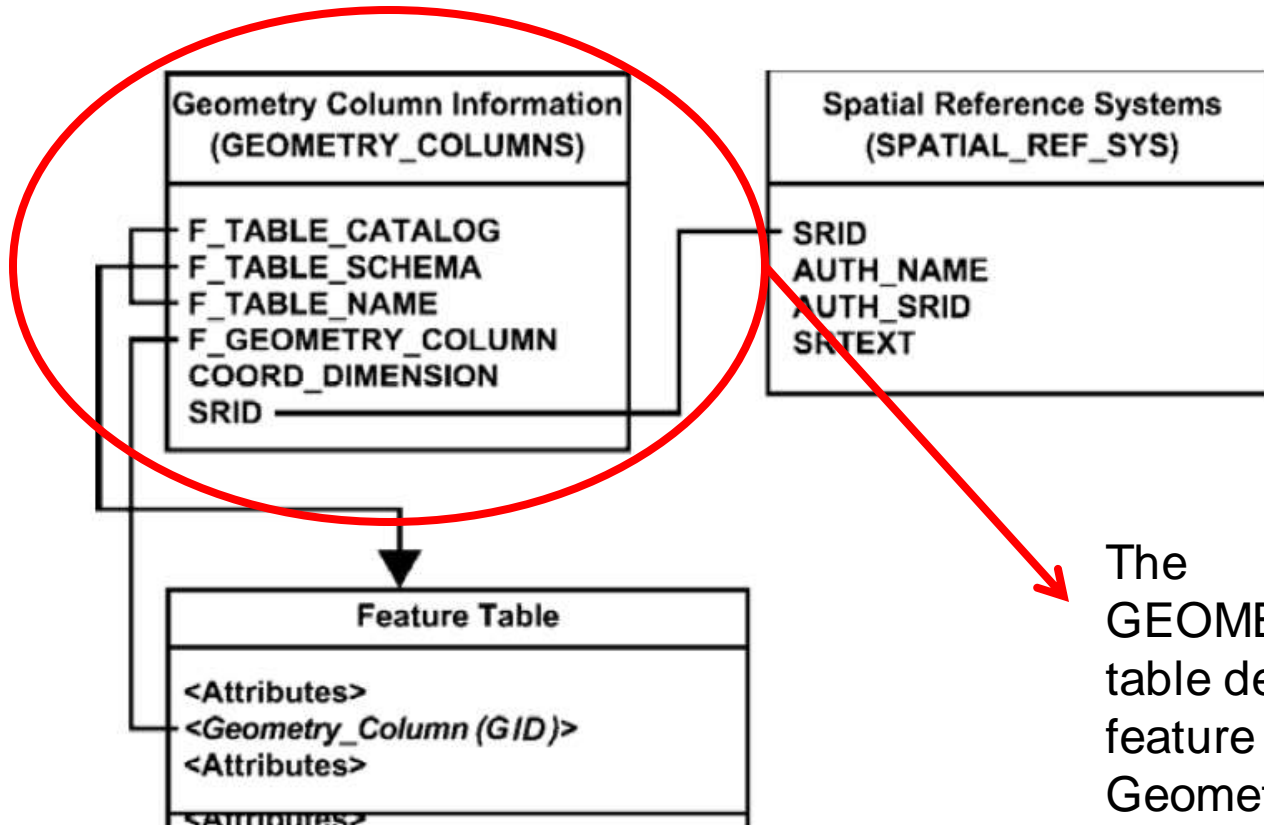
SFS-SQL – Metadata tables



The feature table stores a collection of features. A feature table's columns represent feature attributes, while rows represent individual features. The Geometry of a feature is one of the feature attributes, and is an SQL Geometry Type.



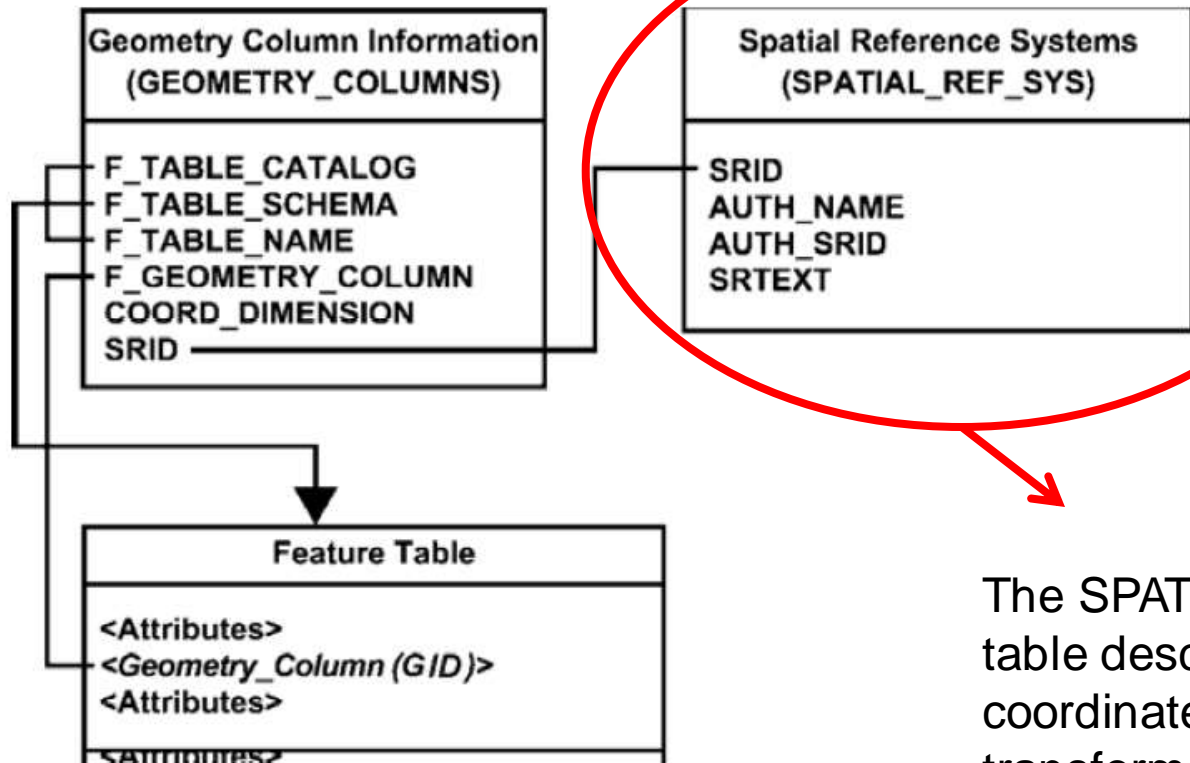
SFS-SQL – Metadata tables



The **GEOMETRY_COLUMNS** table describes the available feature tables and their Geometry properties.



SFS-SQL – Metadata tables



The SPATIAL_REF_SYS table describes the coordinate system and transformations for Geometry



WKT – Well-known Text Representation

Each Geometry Type has a Well-known Text Representation that can be used both to construct new instances of the type and to convert existing instances to textual form for alphanumeric display.



WKT – Well-known Text Representation

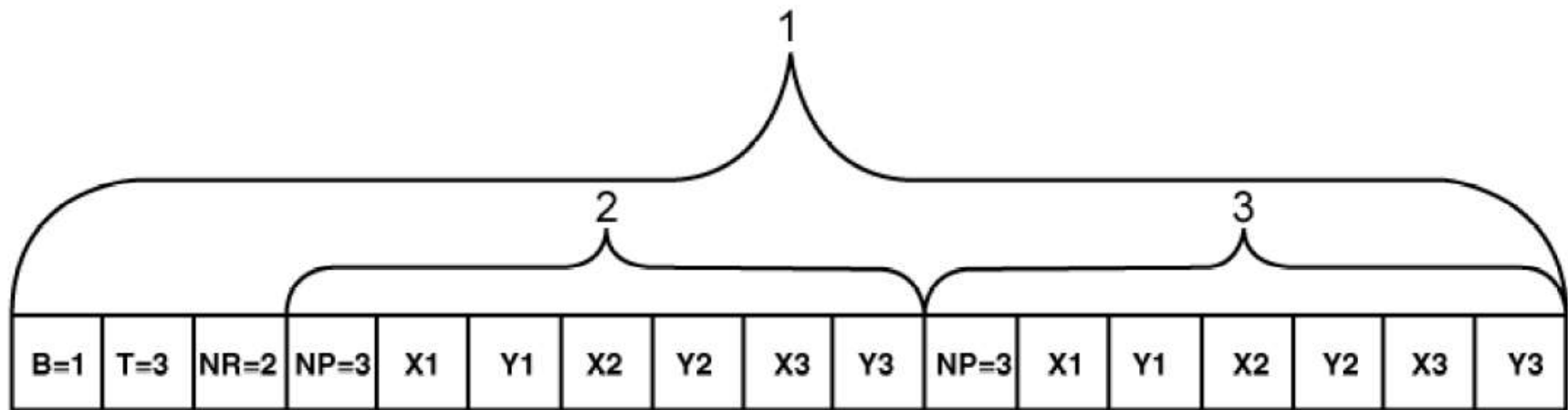
Geometry Type	Text Literal Representation	Comment
Point	<code>Point (10 10)</code>	a Point
LineString	<code>LineString (10 10, 20 20, 30 40)</code>	a LineString with 3 points
Polygon	<code>Polygon ((10 10, 10 20, 20 20, 20 15, 10 10))</code>	a Polygon with 1 exteriorRing and 0 interiorRings
Multipoint	<code>MultiPoint ((10 10), (20 20))</code>	a MultiPoint with 2 points
MultiLineString	<code>MultiLineString ((10 10, 20 20), (15 15, 30 15))</code>	a MultiLineString with 2 linestrings
MultiPolygon	<code>MultiPolygon (((10 10, 10 20, 20 20, 20 15, 10 10)), ((60 60, 70 70, 80 60, 60 60))</code>	a MultiPolygon with 2 polygons



WKB – Well-known Binary Representation

The Well-known Binary Representation for Geometry (WKBGeometry) provides a portable representation of a geometric object as a contiguous stream of bytes. It permits geometric object to be exchanged between an SQL/CLI client and an SQL-implementation in binary form.

WKB – Well-known Binary Representation



Key

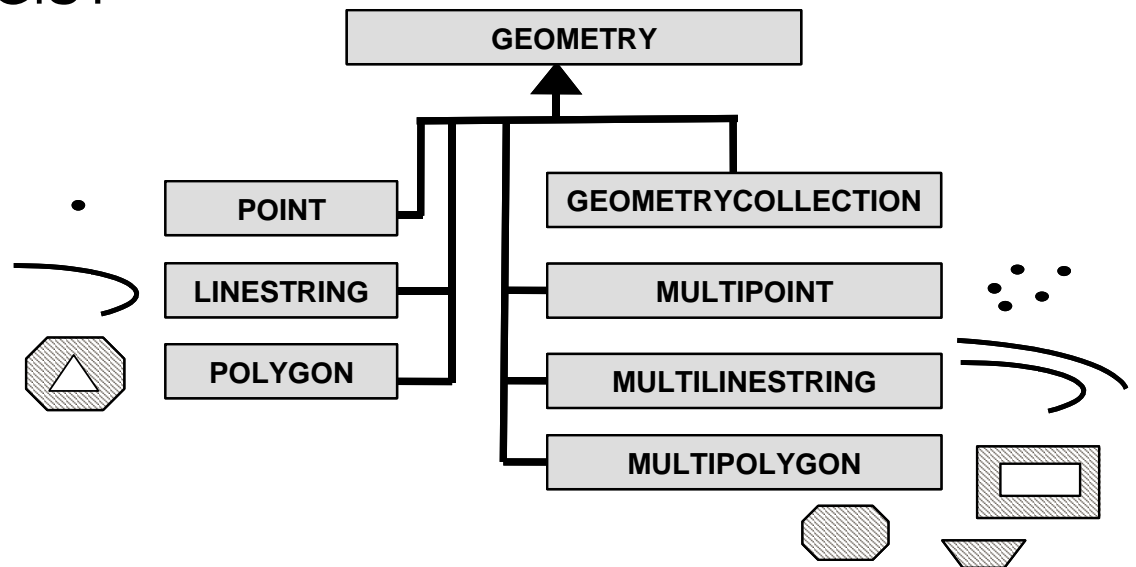
- 1 WKB Polygon
- 2 ring 1
- 3 ring 2

Figure 25: Well-known Binary Representation for a geometric object in NDR format ($B = 1$) of type Polygon ($T = 3$) with 2 LinearRings ($NR = 2$) each LinearRing having 3 points ($NP = 3$)



Extensão espacial - PostGIS

- Extensão do SGBD PostgreSQL (SFS-SQL):
 - Tipos de dados geométricos.
 - Operadores espaciais:
 - Através da biblioteca GEOS
 - Métodos de Acesso Espacial:
 - R-Tree sobre GiST



Extensão espacial - Oracle Spatial

- Extensão do SGBD Oracle (SFS-SQL):
 - Tipos de dados geométricos.
 - Operadores e funções espaciais:
 - Métodos de Acesso Espacial:
 - R-Tree e QuadTree

```
CREATE TYPE SDO_GEOMETRY AS OBJECT (  
  SDO_GTYPE          NUMBER,  
  SDO_SRID           NUMBER,  
  SDO_POINT          SDO_POINT_TYPE,  
  SDO_ELEM_INFO      SDO_ELEM_INFO_ARRAY,  
  SDO_ORDINATES      SDO_ORDINATE_ARRAY);
```

