



Where there is data smoke, there is business fire.

— Thomas Redman

Computação para a Ciência dos Dados

Análise Espacial



Tópicos

- Análise Espacial

Análise Espacial

Motivação



<https://youtu.be/XrU8GX7manc>

Análise Espacial

- Dados permitem explorar fatos que aconteceram, na busca de insights
- Até o momento estávamos fazendo uso de dados que nos diziam **o que** aconteceu
- Agora vamos adicionar uma nova dimensão: **onde** aconteceu



Análise Espacial

Definição

- Estudo quantitativo de fenômenos que são localizados no espaço

“[...] quando os dados são espacialmente localizados e se considera explicitamente a possível importância de seu arranjo espacial na análise ou interpretação dos resultados”

Bailey & Gatrell (1995)

- Georreferenciado?
 - Dados + atributos de localização geográfica
 - Latitude, Longitude
 - Dados com referência espacial: municípios, setores censitários, CEP, etc.

Análise Espacial

Definição

- Estudo quantitativo de fenômenos que são localizados no espaço

“[...] quando os dados são espacialmente localizados e se considera explicitamente a possível importância de seu arranjo espacial na análise ou interpretação dos resultados”

Bailey & Gatrell (1995)

- Georreferenciado?
 - Dados + atributos de localização geográfica
 - Latitude, Longitude
 - Dados com referência espacial: municípios, setores censitários, CEP, etc.

“Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”

Tobler (1979) – Primeira Lei da Geografia

Análise Espacial

Definição

- A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades ou relacionamentos, levando em conta a localização do fenômeno em estudo de forma explícita
- Incorporar o espaço à análise que se deseja fazer!
- Perguntas:
 - Como se representam dados espaciais?
 - Como se analisam tais dados?
 - Como o espaço se adiciona às técnicas de análise exploratória de dados?

Análise Espacial

Mundo Real vs. Mundo Computacional

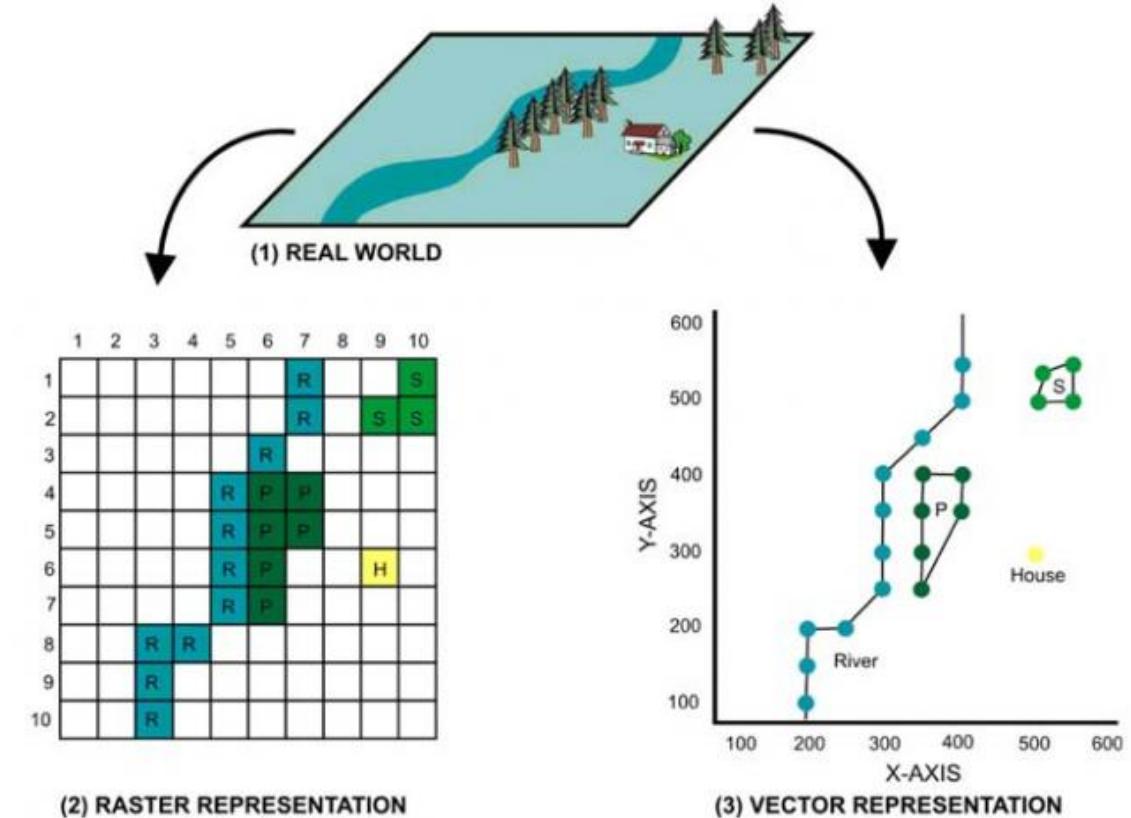
- Dados espaciais têm dois formatos de representação

- Raster/Matricial**

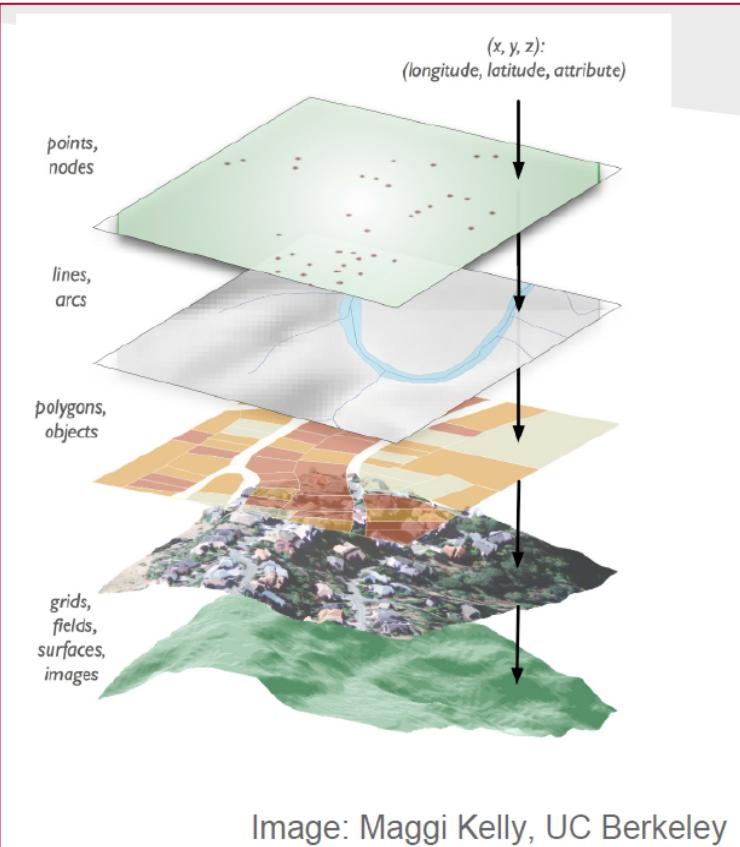
- Baseado em uma estrutura de grade de células
- Formatos comuns: GeoTIFF, HDF5

- Vector/Vetorial**

- Parecido com um mapa de linhas
- Formatos comuns: GeoJSON, shapefile, JPEG2000

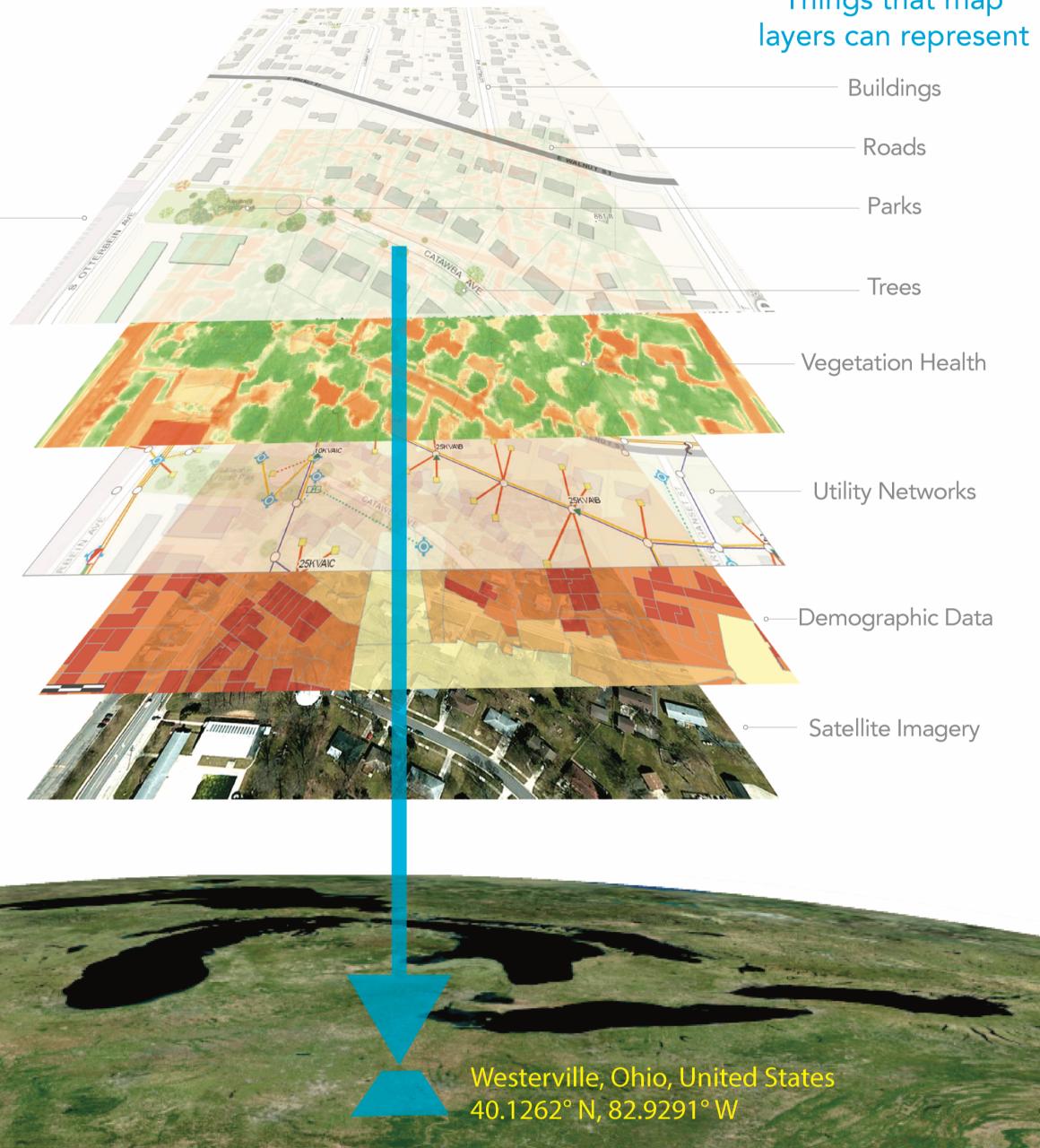


Análise Espacial Layers



Map Layers: The secret advantage

Geographic datasets are presented in GIS as a series of dynamic, stacking map layers that cover a given extent (area). These layers can depict virtually any object (fixed or moving), boundary, event, or spatial phenomenon.

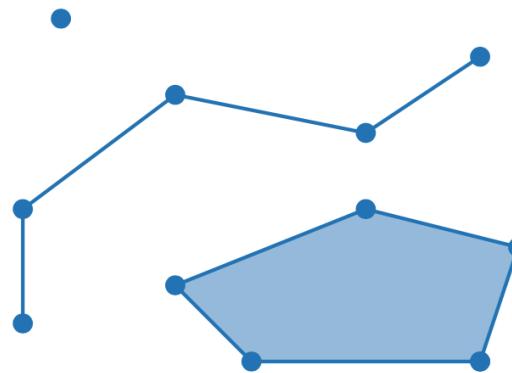


Dados vetoriais

Representações comuns

- O mundo é representado a partir de três elementos:

- Pontos
- Linhas
- Polígonos



Point(2, 10)

LineString([(1, 2), (1, 5), ...])

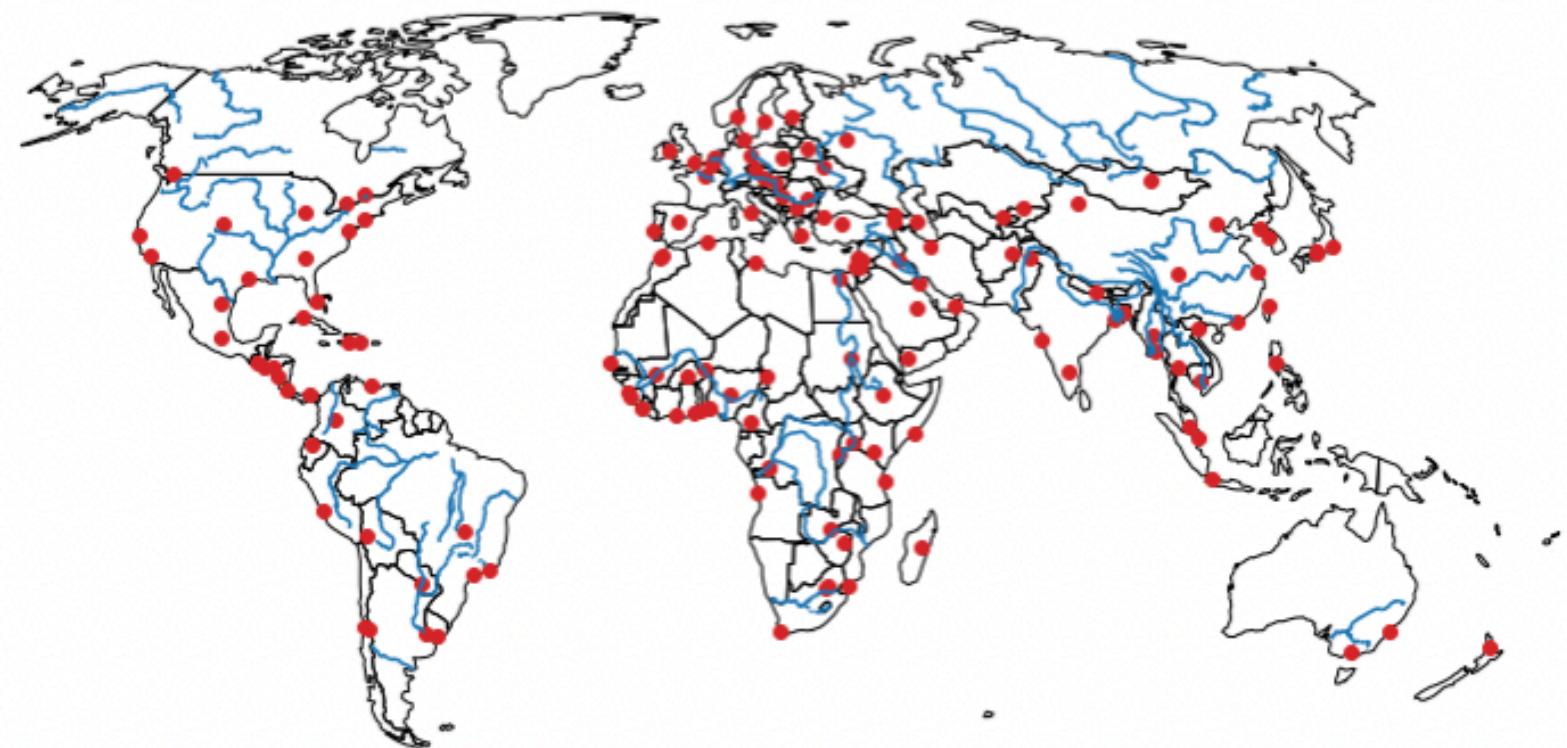
Polygon([(13, 1), (14, 4), ...])

Dados vetoriais

Representações comuns

- O mundo é representado a partir de três elementos:

- Pontos
- Linhas
- Polígonos



Dados vetoriais

Como são representados?

- GeoJSON

GEOJSON

```
1  {
2    "type": "FeatureCollection",
3    "features": [
4      {
5        "type": "Feature",
6        "properties": {
7          "shape": "Polygon",
8          "maps": ["default-map"],
9          "name": "Unnamed Layer",
10         "category": "default",
11         "id": "fab0c3d2-4ee4-492a-b0c9-48ec946ed722"
12       },
13       "geometry": {
14         "type": "Polygon",
15         "coordinates": [
16           [
17             [
18               [-74.011937, 40.718152],
19               [-74.010951, 40.712947],
20               [-74.000784, 40.709857],
21               [-74.000612, 40.717534],
22               [-74.00516, 40.720591],
23               [-74.008849, 40.720299],
24               [-74.011937, 40.718152]
25             ],
26             [
27               [-74.007429, 40.718029],
28               [-74.003315, 40.715485],
29               [-74.007562, 40.715224],
30               [-74.007429, 40.718029]
31             ]
32           ]
33         }
34       }
35     },
36     {
37       "type": "Feature",
38       "properties": {
39         "shape": "Marker",
40         "maps": ["default-map"],
41         "name": "Unnamed Layer",
42         "category": "default",
43         "id": "3a57aa81-deee-45b7-94bf-31ed6014ecee"
44       },
45       "geometry": {
46         "type": "Point",
47         "coordinates": [-74.009111, 40.723601]
48       }
49     },
50     {
51       "type": "Feature",
52       "properties": {
53         "shape": "Circle",
54         "radius": 490.89774184389756,
55         "maps": ["default-map"]
56       }
57     }
58   ]
59 }
```

Dados vetoriais

Como são representados?

GEOJson

- Exemplo GeoJson dos municípios do estado de SP

- Disponível em:

<https://raw.githubusercontent.com/tbrugz/geodata-br/master/geojson/geojs-35-mun.json>

```
{ "type": "FeatureCollection", "features": [ { "type": "Feature", "properties": { "id": "3500105", "name": "Adamantina", "description": "Adamantina"}, "geometry": { "type": "Polygon", "coordinates": [[[{-51.0578686748, -21.3988835488}, {-51.0536454977, -21.4046228386}, {-51.0454394320, -21.4063589008}, {-51.0397224364, -21.4067760488}, {-51.030880762, -21.4088631120}, {-51.0247100808, -21.4208863742}, {-51.0245845013, -21.4263462599}, {-51.0033347502, -21.4385388237}, {-50.9925874583, -21.4367999015}, {-50.9911744426, -21.4418090183}, {-50.9772464698, -21.4526305135}, {-50.9674002039, -21.4750044331}, {-50.9701364325, -21.4791879543}, {-50.9651317696}, {-50.9646254732}, {-51.4912546167}, {-51.50484617375, -21.5150857178}, {-50.9639572448, -21.5215956429}, {-50.9656099653, -21.5382668569}, {-50.9673611800, -21.5431056598}, {-50.9739312904, -21.5459116694}, {-50.9748171251, -21.5613375845}, {-50.9712131933}, {-50.9659005491}, {-50.9792260679, -21.5798159281}, {-50.9707356849}, {-51.0046457589, -21.6126750361}, {-51.0114963862, -21.6314166092}, {-51.0130991573, -21.6360250506}, {-51.0271422833, -21.6433610354}, {-51.036551977, -21.6540680800}, {-51.0370372619, -21.6990653496}, {-51.0390923395, -21.7042989436}, {-51.0459642484, -21.7068818332}, {-51.0463861753, -21.7072367089}, {-51.0528408734, -21.7092922148}, {-51.0532861719, -21.7109205670}, {-51.0541123448, -21.7139243971}, {-51.0813402072, -21.7215768804}, {-51.0862761134, -21.7233067040}, {-51.0803026295, -21.7341740929}, {-51.0858554789}, {-51.0881195931}, {-51.0881406941}, {-51.0922624555}, {-51.0946216794}, {-51.09739412904}, {-51.09748171251, -21.7426296175}, {-51.1400891164, -21.7259380046}, {-51.1491605775, -21.7227656051}, {-51.1475657164, -21.7086946978}, {-51.1584775617, -21.7040789209}, {-51.1670232573, -21.6992803268}, {-51.1709251453, -21.6926570746}, {-51.1766129326, -21.6912722865}, {-51.1778962722, -21.6882063489}, {-51.1778658847, -21.6880795069}, {-51.1712013580, -21.6800527375}, {-51.1715062292, -21.67559751910}, {-51.1626173726, -21.6720742017}, {-51.1624072720, -21.6620278100}, {-51.1386212042, -21.6573602353}, {-51.1297348861, -21.6513817881}, {-51.1087497859, -21.6468260777}, {-51.108837068, -21.6399368261}, {-51.1093372821, -21.636227735}, {-51.1003562275, -21.6371880162}, {-51.0888647585, -21.6325291723}, {-51.0787321059, -21.6074091379}, {-51.0794739700, -21.5925941499}, {-51.0951059967, -21.57012117694}, {-51.0820572043}, {-51.05286456737}, {-51.1055790600, -21.4952291665}, {-51.1006361827, -21.4908375194}, {-51.0961010821, -21.4908375194}, {-51.0904517724, -21.4716763549}, {-51.0836677543}, {-51.0820701976}, {-21.4577194947}, {-51.0860934555, -21.4464620996}, {-51.0835250222, -21.4426277924}, {-51.0877041089, -21.4372677641}, {-51.0858996366, -21.4308716281}, {-51.0724000687, -21.4185169392}, {-51.073150316}, {-51.0605823739, -21.4048906531}, {-51.0578686748, -21.3988354881]}], { "type": "Feature", "properties": { "id": "3500204", "name": "Adolfo", "description": "Adolfo"}, "geometry": { "type": "Polygon", "coordinates": [[[{-49.6547844576, -21.2060738806}, {-49.6384648828, -21.2115348569}, {-49.6263383244, -21.2025692211}, {-49.6195026150, -21.2029539755}, {-49.6149153049, -21.2054411781}, {-49.6079383407, -21.2087276616}, {-49.6013315279, -21.2209620976}, {-49.60120155236, -21.2606278947}, {-49.5958974933, -21.2763877021}, {-49.5808544001, -21.2762343207}, {-49.5836350352, -21.2622234060}, {-49.5719638384, -21.2706376857}, {-49.5741575967, -21.2743431529}, {-49.5706720679}, {-49.569228003}, {-49.569228003}, {-49.569228003}, {-49.5671077239, -21.2883904243}, {-49.5745848854, -21.3020853673}, {-49.5834510712, -21.3038578546}, {-49.5793857671, -21.3120977991}, {-49.579385657216, -21.312368513}, {-49.5797390455, -21.328936982}, {-49.5899647644, -21.3428127586}, {-49.5904816436, -21.3469023680}, {-49.5874015347, -21.3466675863}, {-49.5900664945, -21.3529348645}, {-49.5847061698, -21.3601894854}, {-49.5886306368, -21.3619956280}, {-49.6234550787, -21.3567080482}, {-49.6387052147, -21.3518406652}, {-49.6710153298, -21.3487279453}, {-49.6781665139, -21.3525392487}, {-49.6862999509, -21.3636487465}, {-49.6965236940, -21.3622061935}, {-49.6996033868, -21.3563012940}, {-49.6962133287, -21.3438337411}, {-49.7012005008, -21.3356323325}, {-49.7126758786, -21.3349784242}, {-49.7133107483, -21.3352649701}, {-49.7231121179, -21.3445650157}, {-49.7261008676, -21.3455250813}, {-49.7293700454, -21.3416404554}, {-49.7453576363, -21.3146195900}, {-49.7425319539, -21.3009130221}, {-49.7456232382}, {-49.7293319443}, {-49.7414409775}, {-21.2947528752}, {-49.7380931737, -21.3010774881}, {-49.7211005524, -21.3001580022}, {-49.7234699616}, {-21.2939828423}, {-49.7130821435, -21.2876028943}, {-49.7097897811, -21.2818123270}, {-49.7203734483, -21.2722937117}, {-49.7184214320, -21.2666408142}, {-49.7254688002}, {-21.25509180191}, {-49.7153393231, -21.2582138863}, {-49.7073612188, -21.2489993084}, {-49.6904417897, -21.2420650839}, {-49.6941446399, -21.2355322865}, {-49.6883850856, -21.2322761119}, {-49.6868658920, -21.2255507716}, {-49.6803346951, -21.2232219769}, {-49.6845549169, -21.2192324721}, {-49.6805146650, -21.2132152183}, {-49.6878733193, -21.2062899595}, {-49.6834946409, -21.2035953074}, {-49.6695721022, -21.1965433774}, {-49.6644871829, -21.1970675939}, {-49.6547844576, -21.2060738806]}]
```

Dados vetoriais

Como são representados?

GEOJson

- Exemplo GeoJson dos municípios do estado de SP
 - Disponível em:
<https://raw.githubusercontent.com/tbrugz/geodata-br/master/geojson/geojs-35-mun.json>
- Visualize em <http://geojson.tools>

```
{ "type": "FeatureCollection", "features": [ { "type": "Feature", "properties": { "id": "3500105", "name": "Adamantina", "description": "Adamantina"}, "geometry": { "type": "Polygon", "coordinates": [[[{-51.0578686748, [-21.3988835488], [-51.05364504397, -21.4063589008], [-51.0397224364, -21.4067604088], [-51.0330880762, -21.4088631120], [-51.0247100808, -21.4208663742], [-51.0245485013, -21.4263462599], [-51.0033347502, -21.4385328371}, [-50.9925874583, -21.4367999015], [-50.9911744426, -21.4418090183], [-50.9772464698, -21.4526305135], [-50.9674002039, -21.4750044331], [-50.9701364325, -21.4791879543], [-50.9651317696], [-50.9638203857], [-50.962264355, -21.4912547321], [-50.9644621647, -21.50486461375, -21.5150857178], [-50.9639572448, -21.5215964229], [-50.9656099653, -21.5382668569], [-50.9673611800, -21.5431056598], [-50.9739312904, -21.5459116694], [-50.9748171251, -21.5613219193], [-50.9712131933], [-50.9659050549], [-50.9792260679, -21.5798159244], [-50.973168617, -21.5907356849], [-51.0046457589, -21.6126750361], [-51.0114963862, -21.6314166092], [-51.0130951573, -21.6360250506], [-51.0271422833, -21.6433610354], [-51.0365515977, -21.6540680800], [-51.0370372619, -21.669953496], [-51.039023395, -21.7042989436], [-51.0459642484, -21.7068818332], [-51.0463861753, -21.7072367089], [-51.0528408734, -21.709222148], [-51.0532861719, -21.7109205670], [-51.0541123448, -21.7139243977], [-51.0813402072, -21.7215768804], [-51.0862761134, -21.7233067040], [-51.0803026295, -21.734174092], [-51.0858554789], [-51.0881406941], [-51.0938408713, -21.7451580625], [-51.0917952643, -21.7653411507], [-51.1139292409, -21.7606783530], [-51.1231648791, -21.7551401944], [-51.1366364429, -21.7576040989], [-51.1322846617, -21.7418658802], [-51.1254851932, -21.742296175], [-51.1400891164, -21.7259380046], [-51.1491605775, -21.722765605], [-51.1475657164, -21.7086946978], [-51.1584775617, -21.7040789209], [-51.1670232573, -21.6992803268], [-51.1709251543, -21.6926570746], [-51.1766129326, -21.6912722865], [-51.1778962722, -21.6882063489], [-51.1778658847, -21.6880795069], [-51.17210213580, -21.6800527375], [-51.1715062292, -21.6755751910], [-51.1624072270, -21.6620278100], [-51.1386212042, -21.6573602353], [-51.1093372821, -21.6362272735], [-51.1003562275, -21.6371880162], [-51.0886475785, -21.6325291723], [-51.0787321059, -21.6074091379], [-51.0794739700, -21.5925941499], [-51.0951059967, -21.5701920243], [-51.1048173312, -21.5640520976], [-51.102117694, -21.5428234720], [-51.1083192556, -21.535005781], [-51.1055790600, -21.5286456737], [-51.1063631827, -21.4952921665], [-51.0961010821, -21.4908375194], [-51.091970823, -21.4842801131], [-51.094517224, -21.4716763655], [-51.0836675439, -21.4618409285], [-51.0863761874, -21.4577194947], [-51.0820701976, -21.4504713333], [-51.0806934555, -21.4464620969], [-51.0835250222, -21.4426277924], [-51.0877041089, -21.4372677641], [-51.0858996366, -21.4308716281], [-51.0724000687, -21.4185169392], [-51.0731503016, -21.4128303350], [-51.0605823739, -21.4049890651], [-51.0578686748, -21.3988354881]]}, { "type": "Feature", "properties": { "id": "3500204", "name": "Adolfo", "description": "Adolfo"}, "geometry": { "type": "Polygon", "coordinates": [[[{-49.6547844576, -21.2060738806}, [-49.6384668289, -21.2115348569], [-49.6263383244, -21.2029539755], [-49.61915026150, -21.2029539755], [-49.6108837068, -21.6399368261], [-51.1093372821, -21.6362272735], [-51.1003562275, -21.6371880162], [-51.0886475785, -21.6325291723], [-51.0787321059, -21.6074091379], [-51.0794739700, -21.5925941499], [-51.0951059967, -21.5701920243], [-51.1048173312, -21.5640520976], [-51.102117694, -21.5428234720], [-51.1083192556, -21.535005781], [-51.1055790600, -21.5286456737], [-51.1063631827, -21.4952921665], [-51.0961010821, -21.4908375194], [-51.091970823, -21.4842801131], [-51.094517224, -21.4716763655], [-51.0836675439, -21.4618409285], [-51.0863761874, -21.4577194947], [-51.0820701976, -21.4504713333], [-51.0806934555, -21.4464620969], [-51.0835250222, -21.4426277924], [-51.0877041089, -21.4372677641], [-51.0858996366, -21.4308716281], [-51.0724000687, -21.4185169392], [-51.0731503016, -21.4128303350], [-51.0605823739, -21.4049890651], [-51.0578686748, -21.3988354881]]}, { "type": "Feature", "properties": { "id": "3500303", "name": "Aguai", "description": "Aguai"}, "geometry": { "type": "Polygon", "coordinates": [[[{-49.6547844576, -21.2060738806}, [-49.6384668289, -21.2115348569], [-49.6263383244, -21.2029539755], [-49.61915026150, -21.2029539755], [-49.6108837068, -21.6399368261], [-51.1093372821, -21.6362272735], [-51.1003562275, -21.6371880162], [-51.0886475785, -21.6325291723], [-51.0787321059, -21.6074091379], [-51.0794739700, -21.5925941499], [-51.0951059967, -21.5701920243], [-51.1048173312, -21.5640520976], [-51.102117694, -21.5428234720], [-51.1083192556, -21.535005781], [-51.1055790600, -21.5286456737], [-51.1063631827, -21.4952921665], [-51.0961010821, -21.4908375194], [-51.091970823, -21.4842801131], [-51.094517224, -21.4716763655], [-51.0836675439, -21.4618409285], [-51.0863761874, -21.4577194947], [-51.0820701976, -21.4504713333], [-51.0806934555, -21.4464620969], [-51.0835250222, -21.4426277924], [-51.0877041089, -21.4372677641], [-51.0858996366, -21.4308716281], [-51.0724000687, -21.4185169392], [-51.0731503016, -21.4128303350], [-51.0605823739, -21.4049890651], [-51.0578686748, -21.3988354881]]}]} ] } ] }
```



Dados vetoriais

Como são representados?

- Formato aberto para armazenamento de dados espaciais desenvolvido pelo Open Geospatial Consortium (OGC)
- É tido como um substituto do formato shapefile, extensão criada pela empresa ESRI, produtora do ArcGIS
 - Enquanto o shapefile era composto de quatro arquivos, com o geopackage é composto de um único arquivo .gpkg



Geopackage

IBGE

- O IBGE disponibiliza arquivos no formato GeoPackage, dentre outros
- Exemplo: Bases Cartográficas Contínuas
- BCIM – Base Cartográfica Contínua, ao milionésimo
 - Modelo de dados contempla categorias de informação sobre a realidade **físico-biota** (hidrografia, relevo e vegetação), **territorial** (limites, administração pública) e **antrópica** (localidades, sistema de transportes, estruturas econômicas e, energia e telecom)
- A BCIM é a base cartográfica de referência, sendo insumo geoespacial para a produção de série de mapas e cartas temáticas que contemplam dados da população, solo, geologia, vegetação, recursos naturais e outros

Bases Cartográficas Contínuas do Brasil

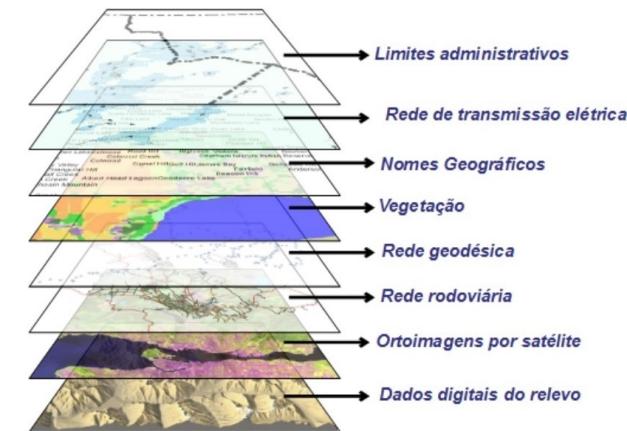


Imagen: <https://www.ibge.gov.br/apps/basescartograficas/Images/capa.jpg#toolbar=0>

Geopackage

IBGE

Bases Cartográficas Contínuas do Brasil

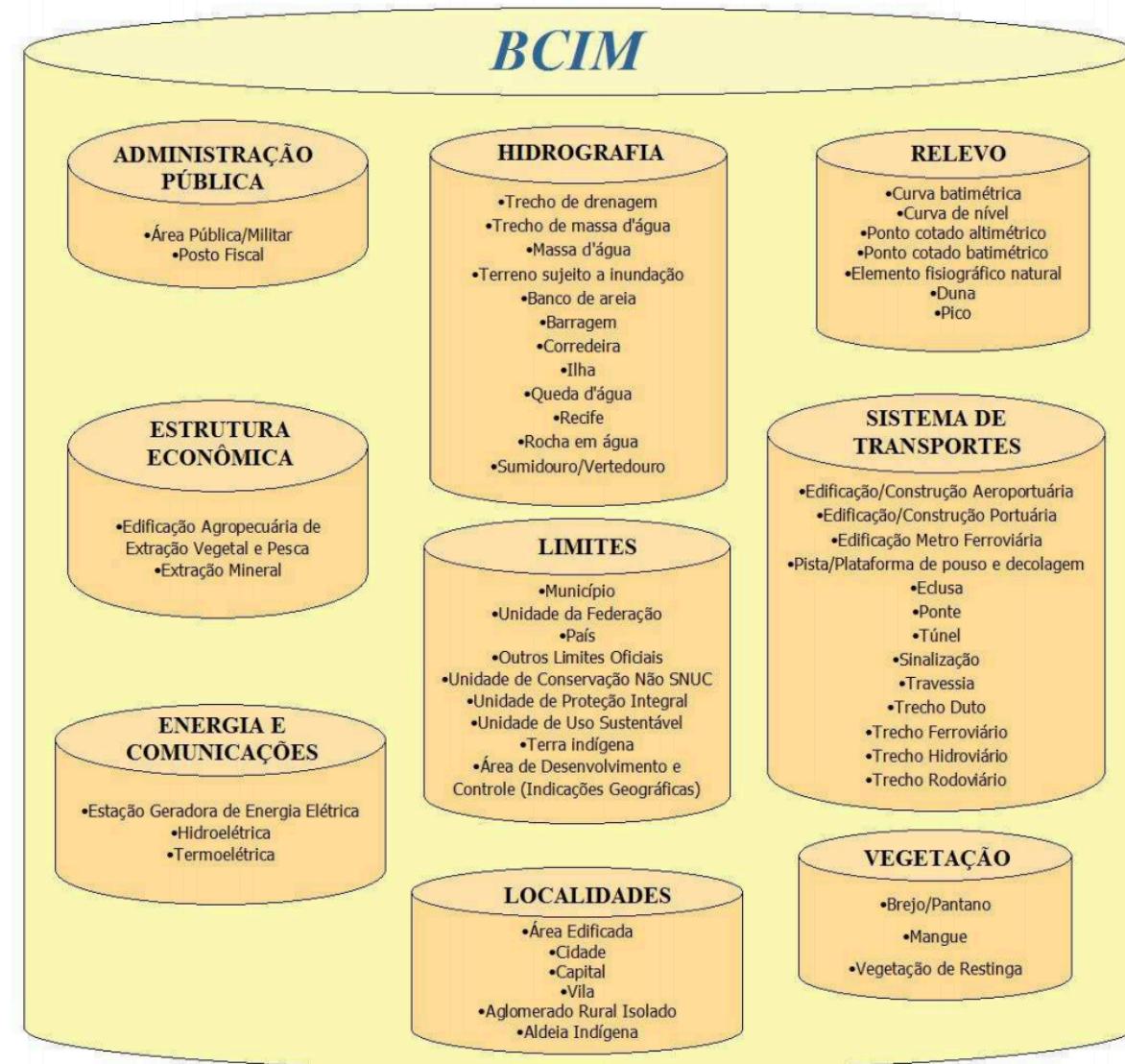
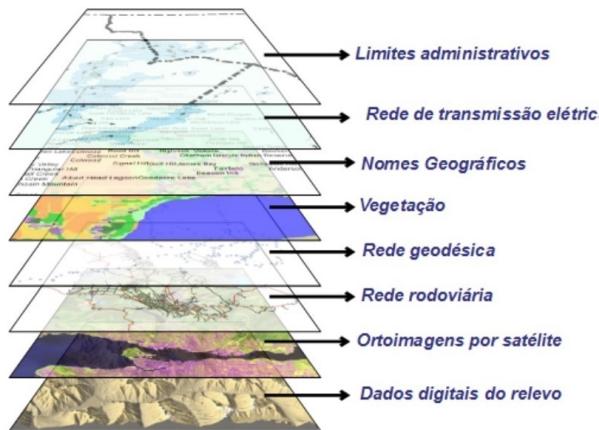


Figura 3.1 – Modelo de Dados – BCIM 2016

Imagen: <https://www.ibge.gov.br/apps/basescartograficas/Images/capa.jpg#toolbar=0>

Geopackage

IBGE

- O download da BCIM pode ser feito em
- ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/

Index of /cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/

 [parent directory]

	Name	Size	Date Modified
	Errata_BCIM_2016_08_09_2018.pdf	56.7 kB	12/10/18, 10:00:00 PM
	Errata_BCIM_2016_21_11_2018.pdf	6.1 kB	12/9/18, 10:00:00 PM
	geopackage/		12/9/18, 10:00:00 PM
	informacoes_tecnicas/		12/5/16, 10:00:00 PM
	lista_de_nomes_geograficos/		9/30/18, 9:00:00 PM
	postgis/		12/9/18, 10:00:00 PM
	shapefile/		12/9/18, 10:00:00 PM

Geopackage

IBGE

- O download da BCIM pode ser feito em
- ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/

Index of /cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/

 [parent directory]

	Name	Size	Date Modified
	Errata_BCIM_2016_08_09_2018.pdf	56.7 kB	12/10/18, 10:00:00 PM
	Errata_BCIM_2016_21_11_2018.pdf	6.1 kB	12/9/18, 10:00:00 PM
	geopackage/		12/9/18, 10:00:00 PM

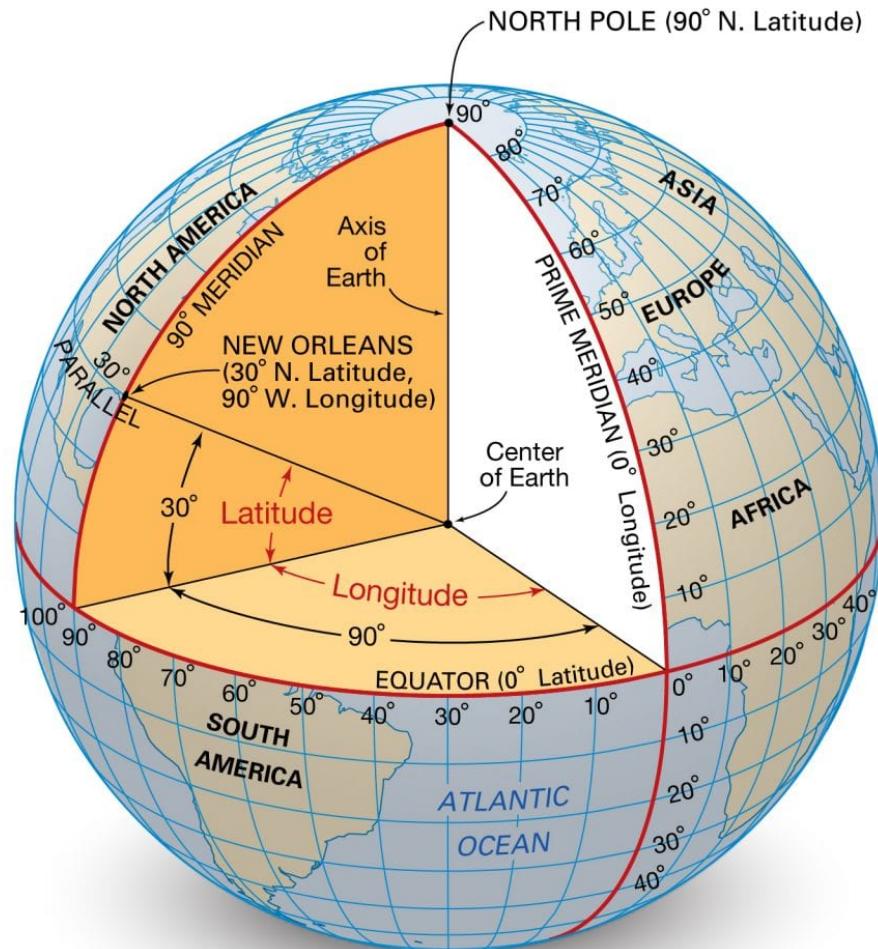
Index of /cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/geopackage/

 [parent directory]

	Name	Size	Date Modified
	bcim_2016_21_11_2018.gpkg	355 MB	12/9/18, 10:00:00 PM

Dados Espaciais

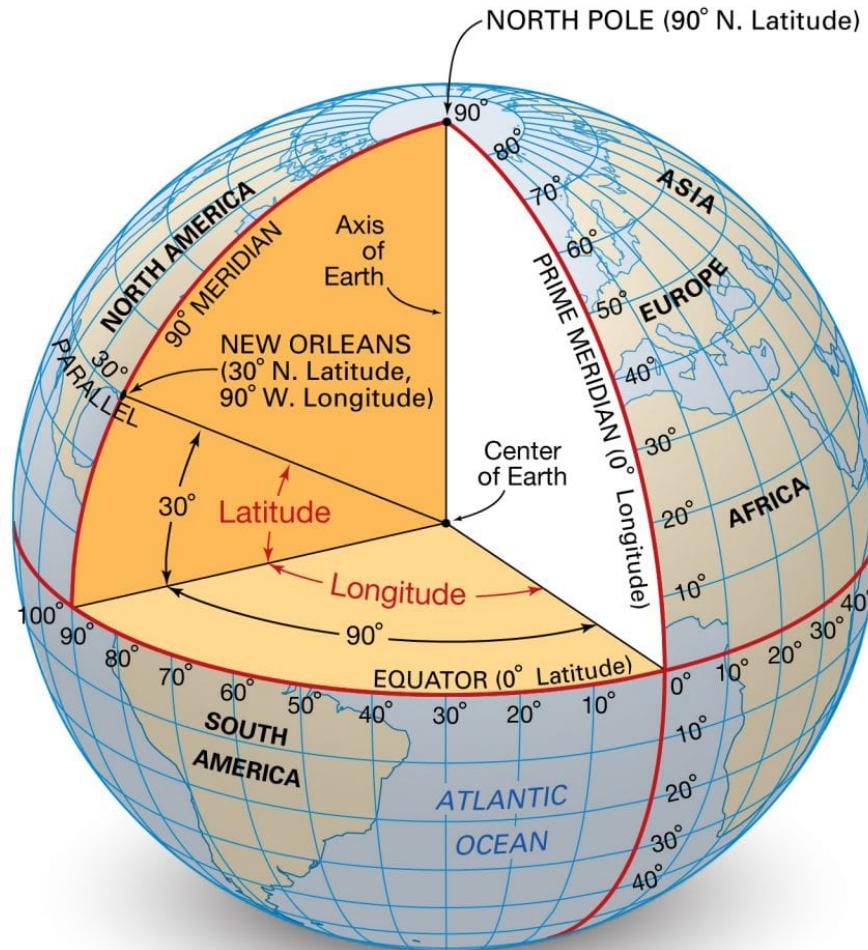
Como referenciar o ONDE?



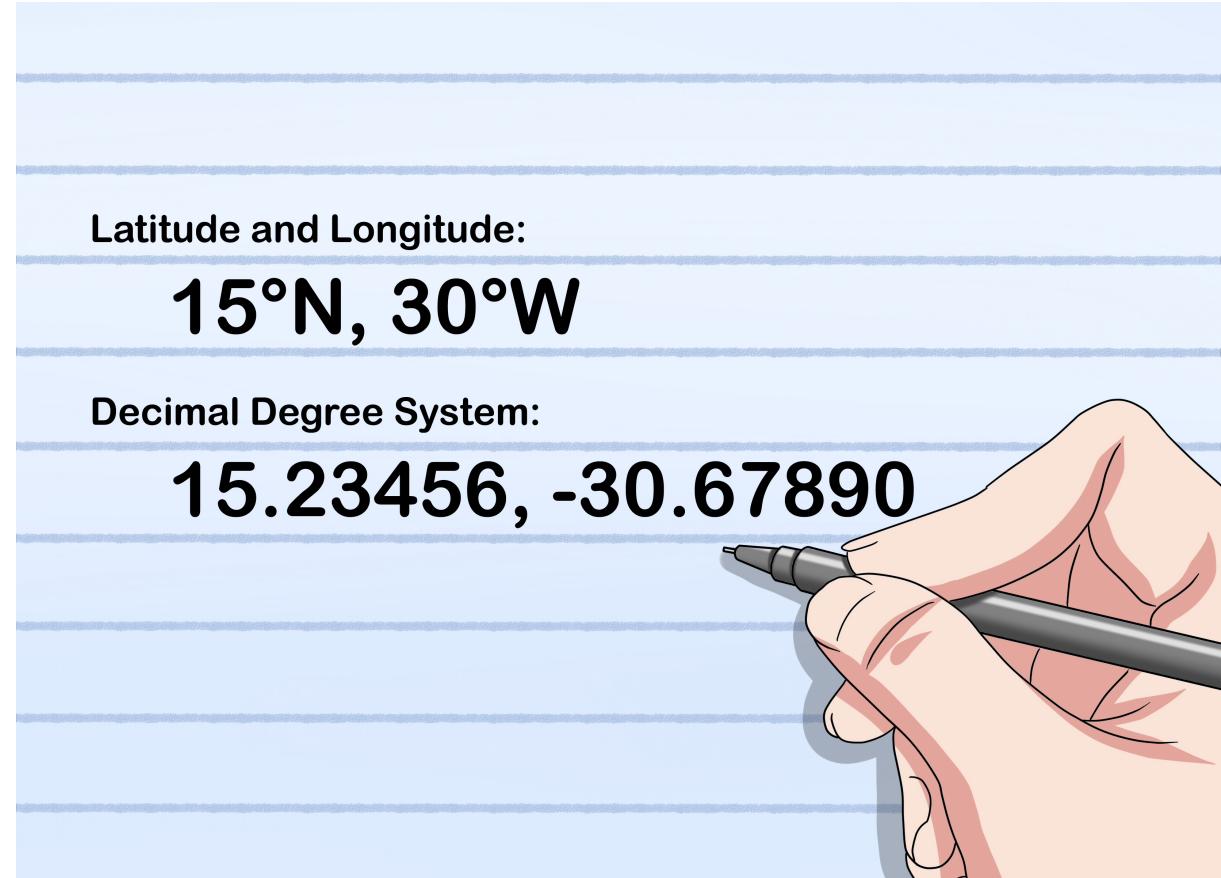
© Encyclopædia Britannica, Inc.

Dados Espaciais

Como referenciar o ONDE?



© Encyclopædia Britannica, Inc.



Dados Espaciais

Como referenciar o ONDE?



(lon, lat)



(x, y)

Dados Espaciais

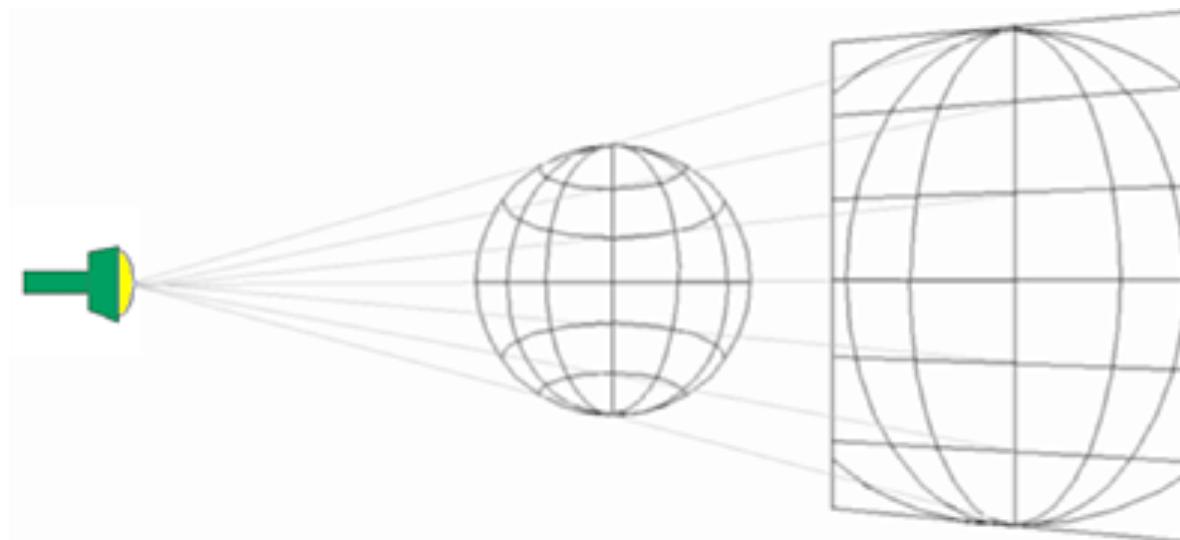
Como referenciar o ONDE?



(lon, lat)

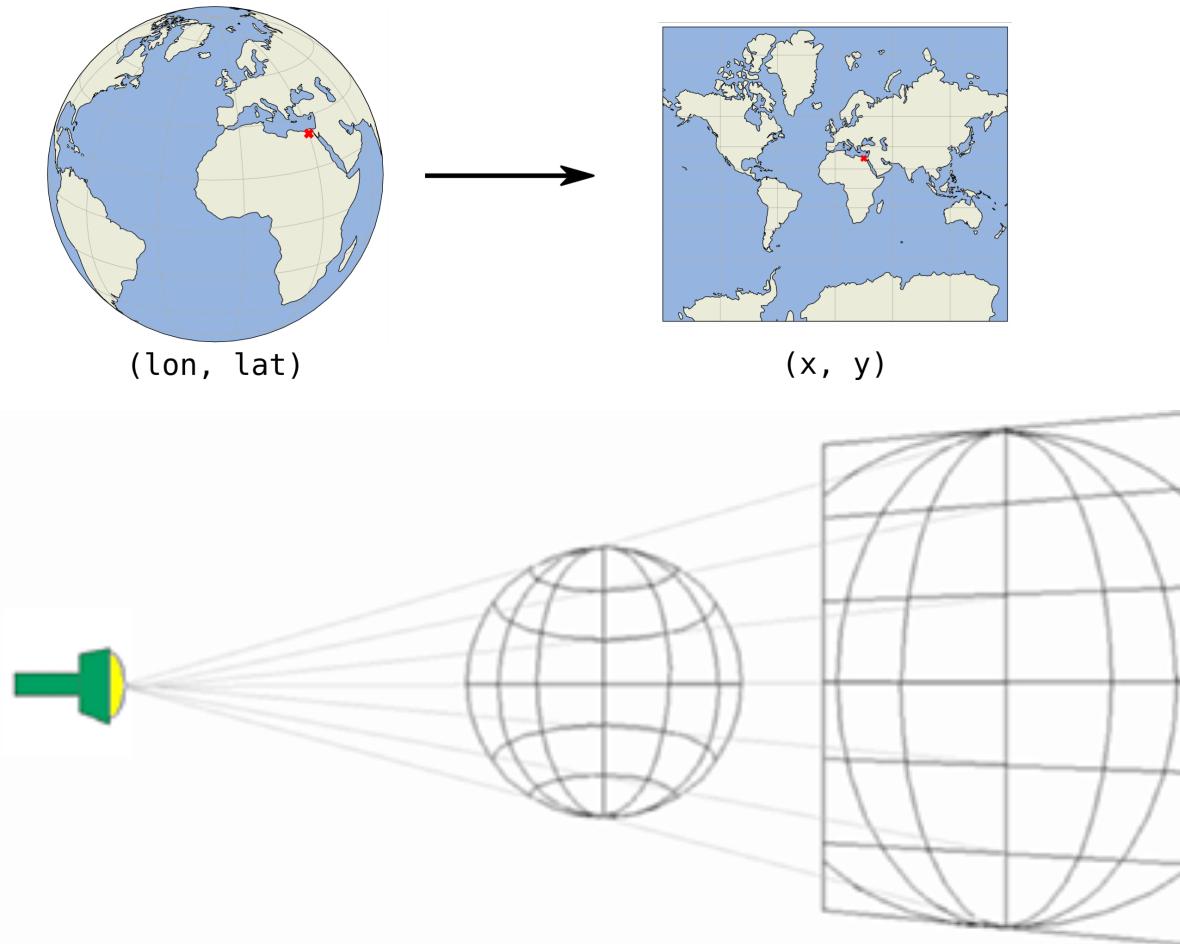


(x, y)



Dados Espaciais

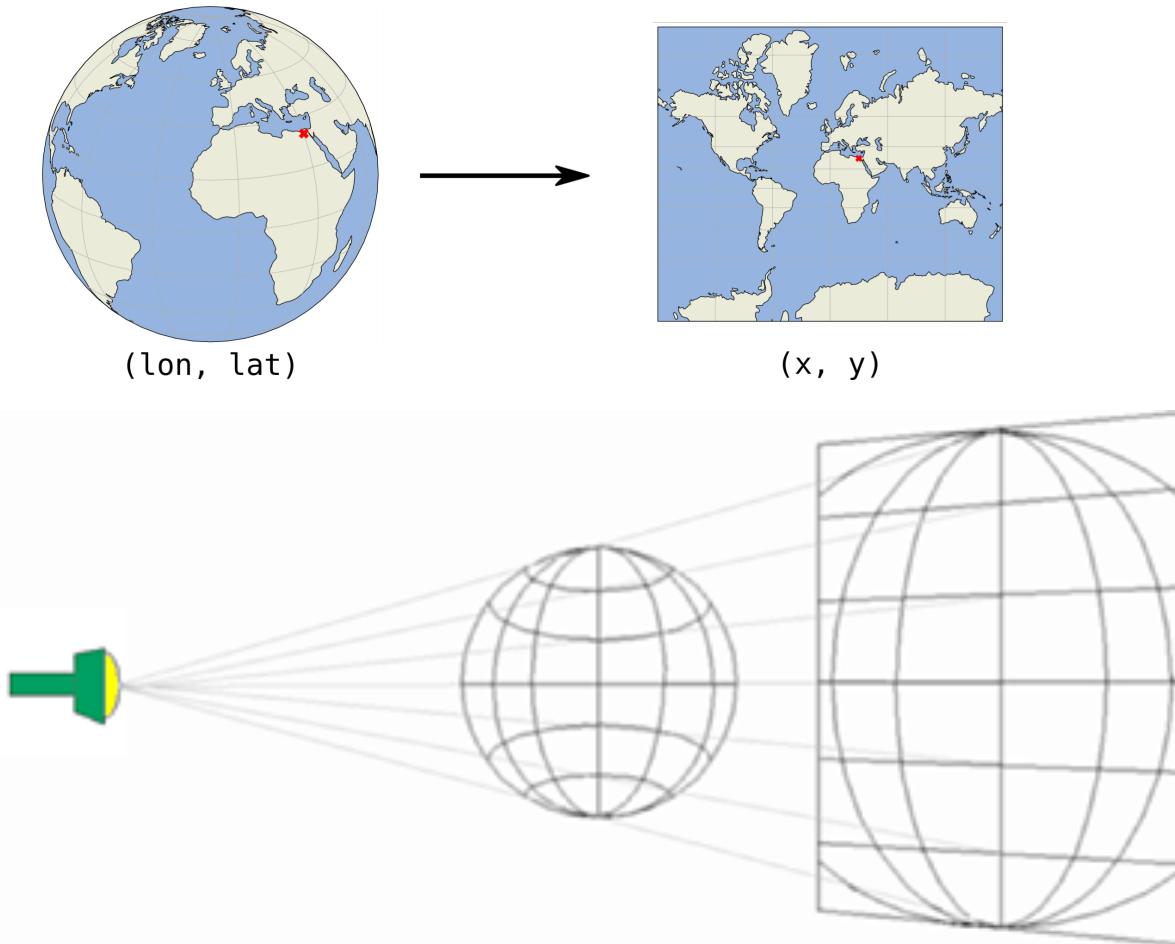
Como referenciar o ONDE?



- Por definição, projeções distorcem:
 - Forma
 - Área
 - Distância
 - Direção
- Algumas projeções são capazes de preservar algumas dessas características, mas nenhuma projeção preserva todas

Dados Espaciais

Como referenciar o ONDE?



- Qual sistema de coordenadas usar?
 - Não é o foco desse curso apresentar as projeções e os CRS em detalhes
 - Mas a projeção WGS84 (EPSG:4326) é a mais utilizada
 - No Brasil, o padrão é a SIRGAS2000
- Para medir distância em metros entre dois pontos, costuma-se utilizar a projeção EPSG:3857
 - Coordenadas projetadas em uma superfície plana
- Dica prática: confira sempre o Sistema de Referência de Coordenadas (CRS) que está sendo utilizado

Dados espaciais

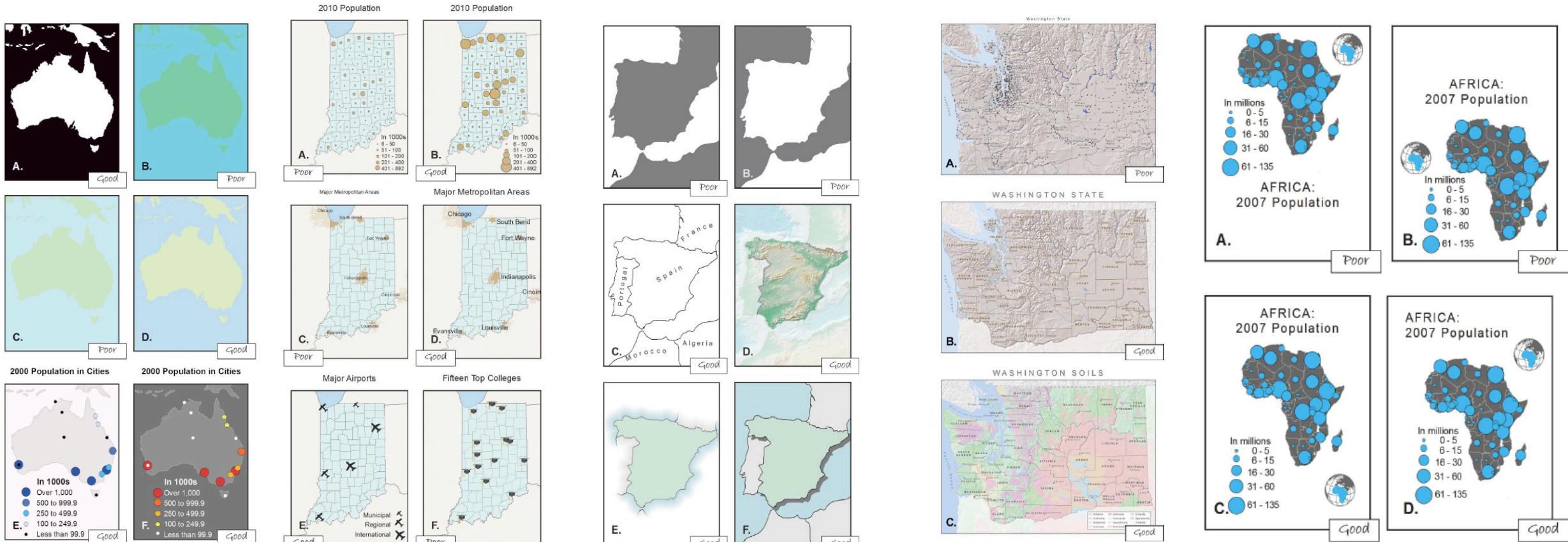
Como analisa-los?

- Boa parte das ferramentas já tratam dados espaciais como um dataframe com uma coluna adicional, denominada Geometry

	pop_est	continent	name	iso_a3	gdp_md_est	geometry
0	920938	Oceania	Fiji	FJI	8374.0	MULTIPOLYGON (((180.00000 -16.06713, 180.00000...
1	53950935	Africa	Tanzania	TZA	150600.0	POLYGON ((33.90371 -0.95000, 34.07262 -1.05982...
2	603253	Africa	W. Sahara	ESH	906.5	POLYGON ((-8.66559 27.65643, -8.66512 27.58948...
3	35623680	North America	Canada	CAN	1674000.0	MULTIPOLYGON (((-122.84000 49.00000, -122.9742...
4	326625791	North America	United States of America	USA	18560000.0	MULTIPOLYGON (((-122.84000 49.00000, -120.0000...

Dados espaciais

Como apresenta-los?



Contraste visual

Legibilidade

Background

Hierarquia

Organização Visual

Fonte [ESRI MAP DESIGN](#)

Insper