

PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

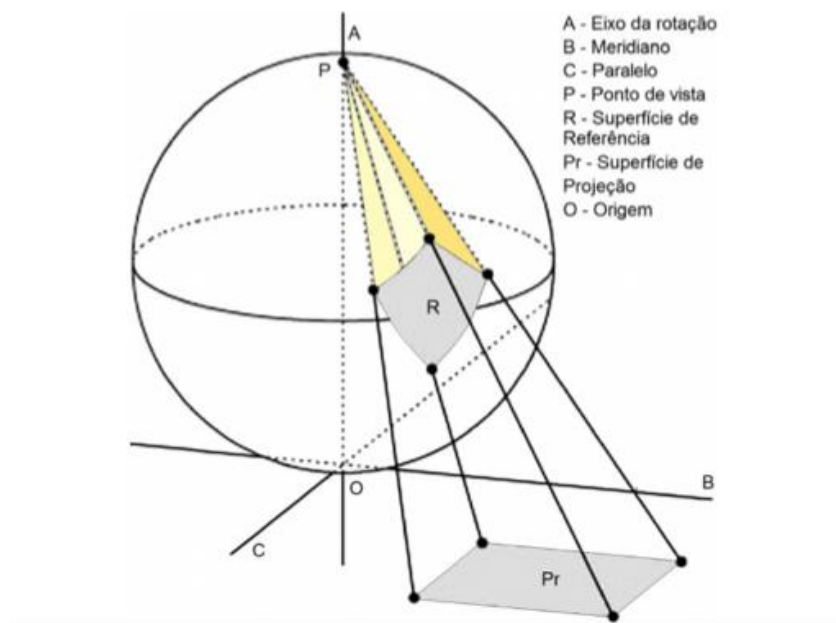
1. Introdução

Ao precisar retratar a superfície do planeta em mapas ou cartas, surge o estudo das projeções cartográficas, de modo a representar a superfície da Terra de maneira mais fiel de modo plano. A principal questão a ser tratada no estudo das projeções é a representação da superfície terrestre em um plano. Os sistemas de projeção se diferenciam pela figura tomada como referência, que pode ser um Elipsóide ou uma Esfera, ou seja, superfícies curvas. Por conseguinte, as projeções em uma superfície plana, geram deformações, com as quais pode-se dizer que não existe nenhuma solução perfeita para o problema, e isto pode ser rapidamente compreendido com o exemplo de tentar fazer coincidir a casca de uma laranja com a superfície plana de uma mesa. Para alcançar um contato total entre as duas superfícies, a casca de laranja teria que ser distorcida.

Embora esta seja uma mera simplificação do problema das projeções cartográficas, ela expressa claramente a impossibilidade de se conseguir uma projeção livre de deformações. Pode-se, então, questionar a validade deste modelo de representação, uma vez que seria possível construir representações tridimensionais do elipsóide ou da esfera, como é o caso do globo escolar, ou ainda expressá-lo matematicamente, como fazem os geodestas. Contudo, existem algumas razões que justificam esta postura, e a mais direta é: o mapa plano é mais fácil de ser produzido e manuseado.

Nesse contexto, projeção cartográfica é a transformação de uma esfera celeste (planeta, lua, etc.) em um desenho plano, normalmente numa escala menor. É claro que nenhuma folha de papel plano pode representar sem distorções uma esfera; portanto, é inevitável que todos os mapas sejam projeções. Sem projeções cartográficas, todas as representações da Terra, com a exceção das de escala grande e de pequenas regiões (que possuem curvatura negligenciável), teriam que ser globos ou segmentos curvos de globos, os quais são volumosos, dispendiosos, e de difícil produção e comercialização em massa.

Na prática, uma projeção cartográfica representa a superfície elipsoidal da Terra, ou parte dela, projetando-a no plano, de acordo com a figura:



2. Escolha de um sistema de projeção

A escolha de um sistema de projeção deve ser feita de maneira que a carta venha a possuir as propriedades que atendam às finalidades impostas pela sua utilização. O ideal seria confeccionar uma carta que reunisse todas as propriedades, representando uma superfície rigorosamente semelhante à superfície da Terra. Esta carta deveria possuir as seguintes propriedades:

- a) Conformidade: Mantém a verdadeira forma das áreas a serem representadas;
- b) Equivalência: Mantém as áreas;
- c) Equidistância: Conserva as relações entre as distâncias dos pontos representados e as distâncias dos seus correspondentes.

Visto que a superfície real da Terra não é desenvolvível por um modelo matemático, torna-se impossível a construção da carta ideal, isto é, que reunisse as três propriedades supracitadas. Assim, é necessário, ao fixar-se o sistema de

projeção escolhido, considerar a finalidade da carta que se quer construir. Na Topografia, a Conformidade é a característica mais importante a ser garantida, pois o conhecimento dos ângulos é essencial. Há ainda que considerar uma correção a ser utilizada para obterem-se as distâncias reais entre os pontos.

3. Classificação das projeções cartográficas

3.1. Quanto ao método

Projeção Geométrica: Baseia-se em princípios da Geometria. Pode ser obtida pela intersecção, sobre a superfície de projeção, do feixe de retas que passa por pontos da superfície de referência partindo sempre de um ponto (centro perspectivo).

Projeção Analítica: Baseia-se em formulações matemáticas obtidas com o objetivo de se atender condições previamente estabelecidas.

3.2. Quanto às propriedades

Neste critério, podemos classificar as projeções cartográficas em projeções equivalentes, projeções conformes, projeções equidistantes e projeções afiláticas. Entretanto, nenhuma dessas propriedades pode coexistir, por serem incompatíveis entre si. Uma projeção terá uma dessas propriedades, da qual, a partir desta propriedade podemos relacionar com outros métodos para conseguir uma melhor representação do planisfério.

As projeções equivalentes tem a propriedade de não alterarem as áreas, conservando assim, uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra. Seja qual for a porção representada num mapa, ela conserva a mesma relação com a área de todo o mapa. O mapa mundi representado na figura 1, obedece um um sistema de projeções equivalentes (Projeção de Aitoff), em que, nota-se que o centro da projeção é o único ponto sem deformação, isto é, onde os ângulos são retos.



Figura 2. A figura acima ilustra o mapa-múndi desenhado sobre a projeção equivalente de Aitoff.

As projeções conformes representam sem deformação, todos os ângulos em torno de quaisquer pontos, e decorrentes dessa propriedade, não deformam pequenas regiões. Outra particularidade desse tipo de projeção é a escala, que em qualquer ponto, é a mesma, seja na direção que for. Embora, por outro lado, mude de um ponto para outro, e permaneça independente do azimuth em todos os pontos do mapa. A projeção de Mercator (Figura 2) é um exemplo de projeção conforme.

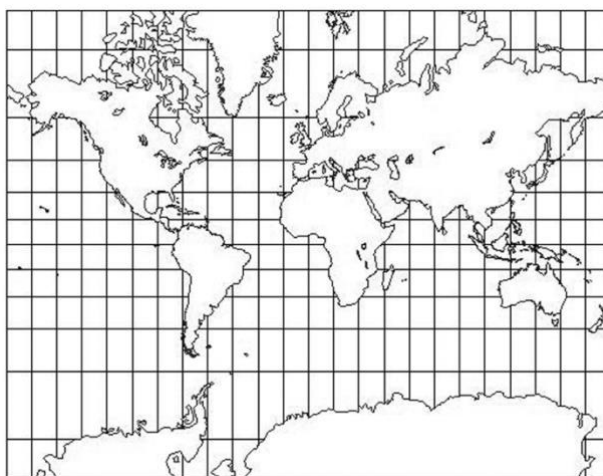


Figura 3. Planisfério traçado na projeção conforme de Mercator.

Projeções equidistantes são as que não apresentam deformações lineares para algumas linhas em especial, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme. Neste caso, todas as distâncias radiais, a partir do centro, para

qualquer parte da Terra, são corretas. Exemplos desse tipo são projeções azimutais ou zenitais.

E por fim, as projeções afiláticas não possui nenhuma das propriedades dos outros tipos, isto é, equivalência, conformidade e equidistância, ou seja, as projeções em que as áreas, os ângulos e os comprimentos não são conservados.

3.3. Quanto ao tipo de contato entre as superfícies de projeção e referências

A superfície de projeção é a figura geométrica que estabelecerá a projeção plana do mapa, podendo ser tangente ou secante (Figura 3 A, B, respectivamente). Na projeção tangente: a superfície de projeção tangencia à referência. (plano- um ponto; cone e cilindro- uma linha). Na projeção secante: a superfície de projeção secciona a superfície de referência. (plano- uma linha; cone- duas linhas desiguais; cilindro- duas linhas iguais).

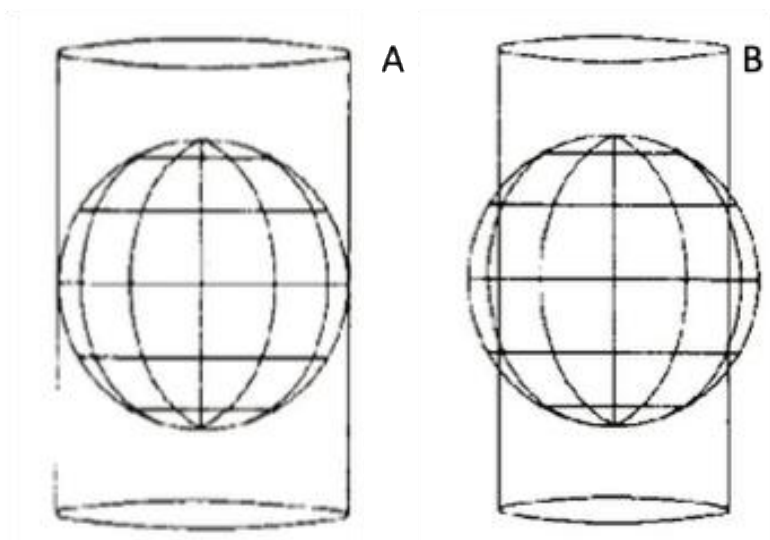
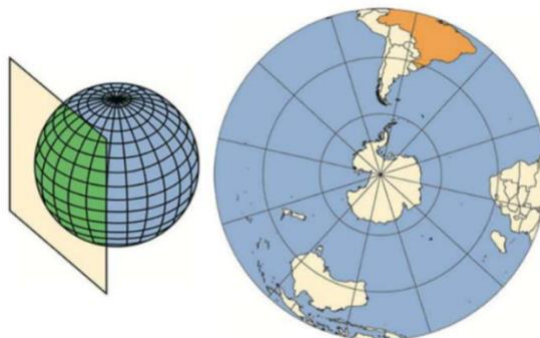


Figura 4. _____

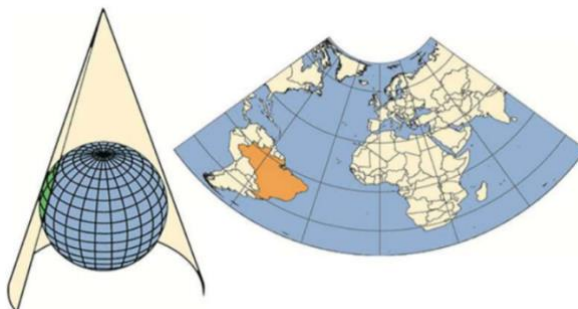
3.4. Quanto à superfície de projeção

Projeção Plana: Também chamada de Projeção Azimutal, é um tipo de projeção usada comumente para representação das áreas polares pois parte sempre de um ponto para a representação da(s) área(s), por isso é usado para

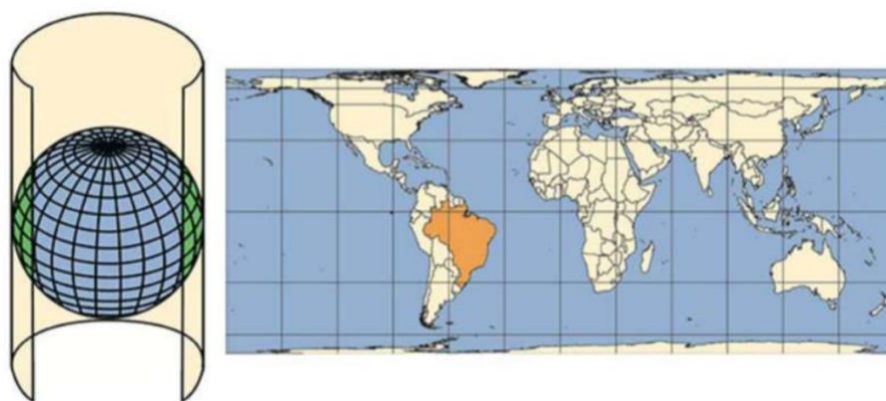
pequenas áreas. Pode ser de três tipos: Polar, Equatorial e Oblíqua (chamada também de horizontal). Este tipo de projeção utiliza um plano tangente à superfície terrestre, coincidindo com ela em um ponto e preserva as distâncias entre os pontos e, por isso, costuma ser utilizado para rotas marítimas. Representam bem áreas pequenas e próximas ao ponto de tangência. Usadas em mapas de polos ou regiões específicas.



Projeção cônica: A superfície terrestre é representada num cone envolvendo o globo terrestre. Os paralelos formam círculos concêntricos e os meridianos são linhas retas que convergem para os polos, as deformações ocorrem conforme se afastam do paralelo padrão (paralelo de contato com o cone). A projeção é utilizada para representar áreas continentais (como regiões e continentes), ou seja, é região equatorial. Utiliza um cone imaginário para envolver a superfície terrestre, o qual pode ser tangente ou secante à superfície. Quanto mais próximo do paralelo que tangencia o cone, menores são as deformações. Adequadas para regiões de médias latitudes (como Europa e América do Norte). As distorções são mínimas em áreas próximas ao paralelo padrão (onde o cone toca a Terra).



Projeção cilíndrica: A superfície terrestre é representada num cilindro envolvendo o globo terrestre. Os paralelos e os meridianos são linhas retas que convergem entre si. As deformações ocorrem conforme se aumentam as latitudes, tendo a chegar ao infinito. É comumente utilizada para representações do globo, como mapas-múndi. Projeta-se a superfície terrestre, com os paralelos e meridianos, sobre um cilindro que, ao ser desenrolado, conterà a superfície em um plano. O cartógrafo Gerhard Kremer utilizou um Cilindro Transverso para a elaboração das coordenadas UTM. Mantêm as formas próximas ao equador. As distorções aumentam à medida que se aproximam dos polos.



Projeção Polissuperficial: Quando apresenta mais de um tipo de projeção para aumentar o contato da superfície de referência e, portanto, diminuir as deformações (exemplos: cone-policônica, plano-poliédrica, cilindro-policilindro).

4. Principais projeções

4.1. Mercator

A projeção de Mercator, desenvolvida pelo cartógrafo flamengo Gerardus Mercator em 1569, é uma das mais conhecidas e amplamente utilizadas na cartografia. Caracteriza-se por ser uma projeção cilíndrica conforme, o que significa que preserva os ângulos e as formas locais, tornando-a especialmente útil para navegação marítima e aérea. Nela, os meridianos e paralelos aparecem como

linhas retas que se cruzam em ângulos retos, facilitando a traçagem de rotas de rumo constante (loxodromias) no mapa.

Apesar de suas vantagens, a projeção de Mercator distorce significativamente as áreas à medida que se afasta do equador. Regiões próximas aos polos parecem muito maiores do que realmente são, como a Groenlândia, que na projeção parece do tamanho da África, embora seja muito menor. Essa característica torna a Mercator inadequada para representar proporções globais, sendo frequentemente criticada por perpetuar visões eurocêtricas. Ainda assim, continua sendo amplamente utilizada em contextos específicos, como mapas de navegação e em plataformas digitais como o Google Maps (em escalas locais).

Dadas as coordenadas geográficas de um ponto na Terra:

- Latitude (ϕ): distância angular ao norte ou sul do equador.
- Longitude (λ): distância angular a leste ou oeste do meridiano de referência.

As coordenadas projetadas (x,y) na projeção de Mercator são calculadas como:

$$x=R \cdot \lambda$$

$$y=R \cdot \ln\left[\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)\right]$$

Em que: R: raio da esfera terrestre; ϕ e λ : latitude e longitude em radianos.

Teremos então no eixo de x, A longitude (λ) é projetada linearmente no eixo horizontal, de forma proporcional ao raio da Terra (R). Isso faz com que os meridianos fiquem igualmente espaçados. E no eixo de Y A latitude (ϕ) é transformada usando uma função logarítmica para expandir os valores em direção aos polos. Isso evita a compressão extrema das latitudes altas que ocorre em projeções lineares, mas causa distorções em escala nas áreas representadas.

4.2. Peters

A projeção de Peters, também conhecida como projeção de Gall-Peters, é uma projeção cartográfica equivalente, ou seja, preserva as proporções entre as áreas dos diferentes continentes e países. Desenvolvida com base nos estudos de James Gall no século XIX e popularizada por Arno Peters em 1973, ela se destaca como uma alternativa à projeção de Mercator, oferecendo uma visão mais fiel à realidade em termos de tamanho territorial. Isso faz com que regiões como a África e a América do Sul, frequentemente subdimensionadas em outras projeções, apareçam em sua verdadeira proporção, destacando a importância dessas áreas no contexto global.

Embora a projeção de Peters seja elogiada por seu compromisso com a equidade, ela também apresenta distorções, especialmente nas formas dos continentes, que ficam alongados na direção norte-sul. Essas características tornam a projeção menos adequada para navegação ou para representar formas precisas, mas ideal para fins educacionais e políticos, pois desafia visões tradicionais e incentiva reflexões sobre desigualdades históricas e geográficas. A adoção dessa projeção tem sido um marco em debates sobre representação cartográfica justa.

A fórmula matemática usada nessa projeção é relativamente simples e se baseia em um sistema cartesiano adaptado para representar a superfície esférica da Terra.

Dadas as coordenadas geográficas de um ponto na Terra:

- Latitude (ϕ): distância angular ao norte ou sul do equador.
- Longitude (λ): distância angular a leste ou oeste do meridiano de referência.

As coordenadas projetadas (x,y) são dadas por:

$$x=R\cdot\lambda$$

$$y=2\cdot R\cdot\sin(\phi)$$

Em que: R é o raio da esfera terrestre usado no modelo (ou o semieixo maior em modelos elipsoidais). λ e ϕ estão em radianos.

Teremos então que no eixo de X , A longitude (λ) é projetada linearmente ao longo do eixo horizontal, proporcional ao raio R . Isso significa que a distância entre dois pontos ao longo do mesmo paralelo é constante. Já no eixo de Y , A latitude (ϕ) é projetada de maneira que as áreas ao longo dos paralelos sejam preservadas. O uso da função seno garante que a projeção mantenha as proporções entre as áreas da superfície terrestre.

4.3. Robinson

A projeção de Robinson é uma projeção cartográfica compromissada, criada por Arthur H. Robinson em 1963, com o objetivo de produzir uma representação visualmente equilibrada do globo terrestre. Ela não é conforme nem equivalente, o que significa que não preserva perfeitamente ângulos ou áreas, mas busca minimizar as distorções em ambos os aspectos. Os paralelos aparecem como linhas retas e os meridianos como arcos suavemente curvados, criando uma forma elíptica que aproxima a aparência da Terra. Essa projeção é amplamente utilizada para mapas-múndi devido à sua estética agradável e à capacidade de representar continentes e oceanos de forma proporcional, mantendo uma percepção visual intuitiva da relação entre áreas e formas globais.

Para cada latitude, Robinson determinou os fatores $X(\phi)$ e $Y(\phi)$ através de cálculos experimentais para ajustar a aparência geral do mapa. Esses fatores ajustam o espaçamento horizontal (x) e vertical (y) em função da latitude. Entre as latitudes tabuladas, os valores de $X(\phi)$ e $Y(\phi)$ são interpolados para calcular as coordenadas dos pontos que não estão diretamente listados nas tabelas. A projeção curva os meridianos suavemente, proporcionando uma transição gradual entre os polos e o equador, o que contribui para o equilíbrio visual.

Dadas as coordenadas geográficas de um ponto na Terra:

- Latitude (ϕ): distância angular ao norte ou sul do equador.

- Longitude (λ): distância angular a leste ou oeste do meridiano de referência.

As coordenadas projetadas (x,y) são dadas por:

$$x=R \cdot \lambda \cdot X(\phi)$$

$$y=R \cdot Y(\phi)$$

Em que: R: raio da esfera terrestre; $X(\phi)$ e $Y(\phi)$: valores específicos extraídos de tabelas empíricas para cada latitude (ϕ) e λ : longitude em radianos.