

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Transportes – PTR

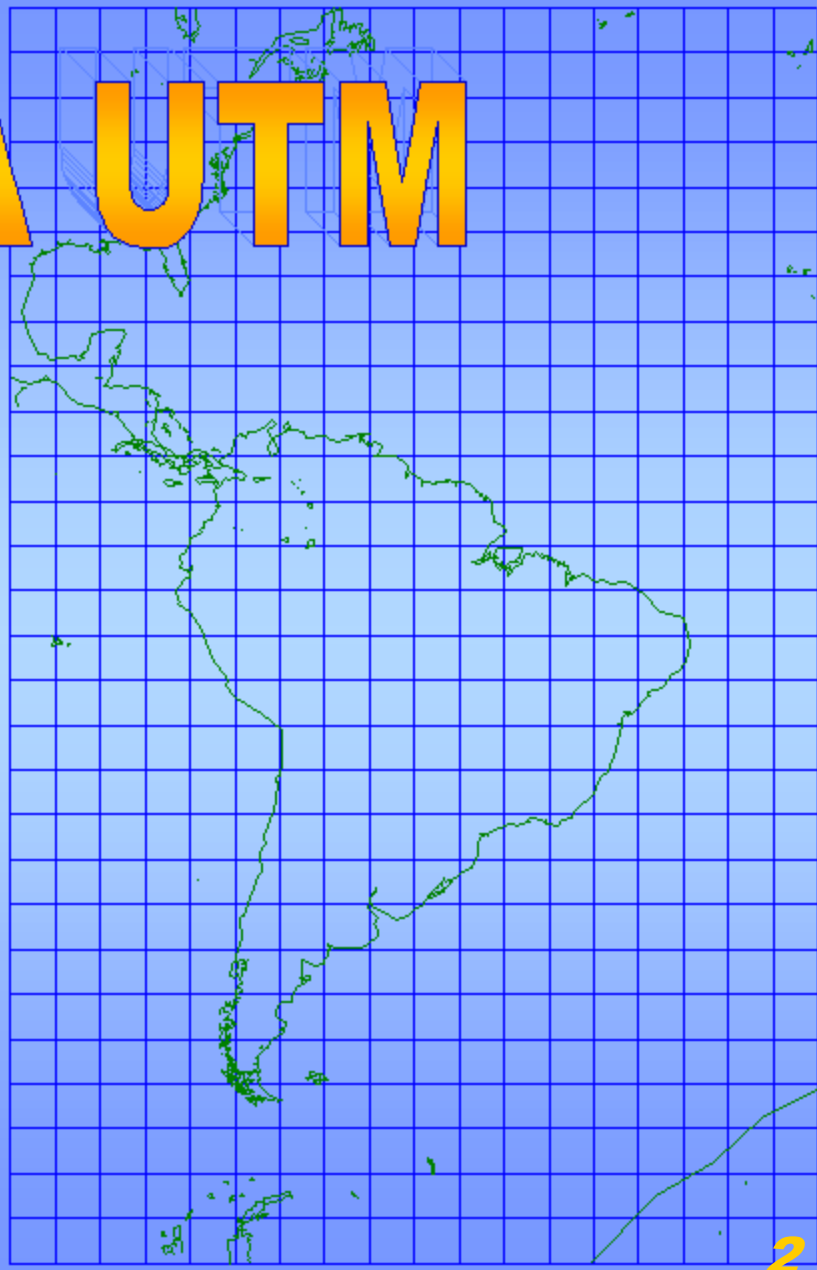
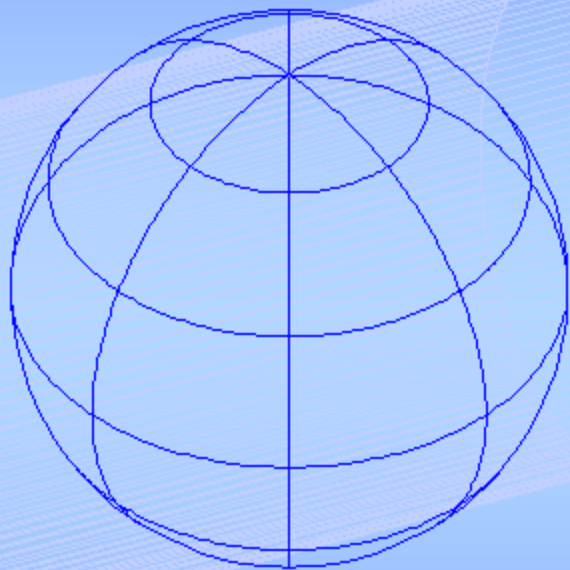
Laboratório de Topografia e Geodesia – LTG

PTR 3111 – Geomática I



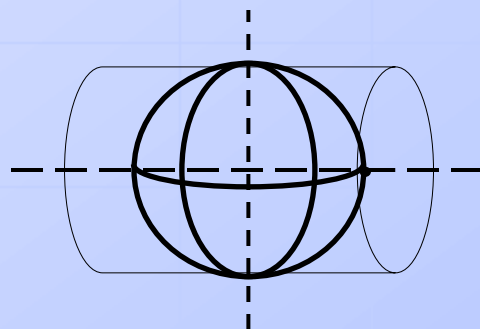
PTR3111

SISTEMA UTM



O que é a Projeção UTM?

- É a projeção **Universal Transversa de Mercator**.
- Assim como a Projeção de Mercator, é uma projeção cilíndrica. Como foi visto na aula de projeções, uma projeção **transversa** é aquela onde o eixo do cilindro está no plano do equador.

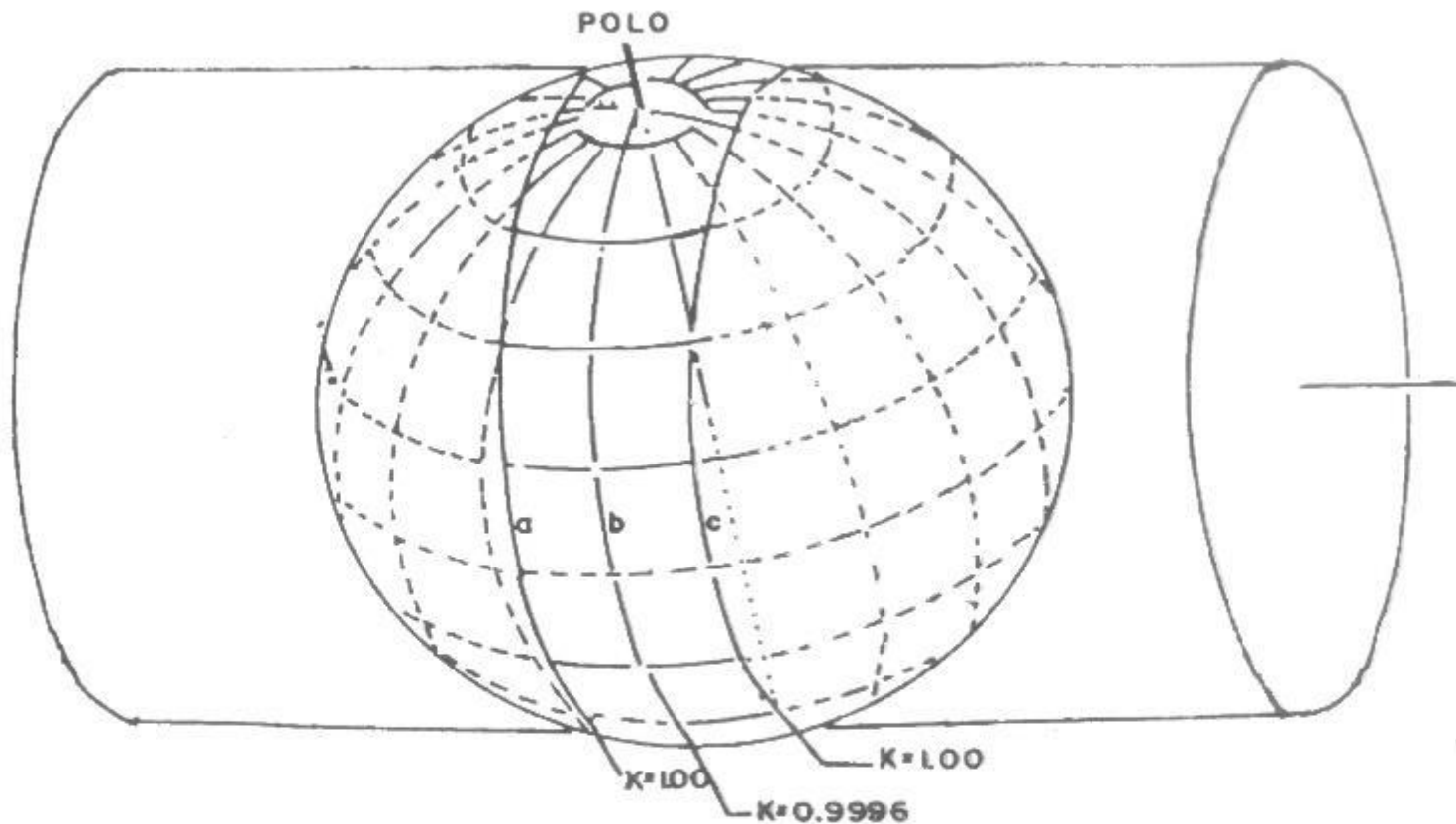


- É um sistema universal, isto é, utilizado internacionalmente para representação da superfície da Terra.

Qual a característica da Projeção UTM?

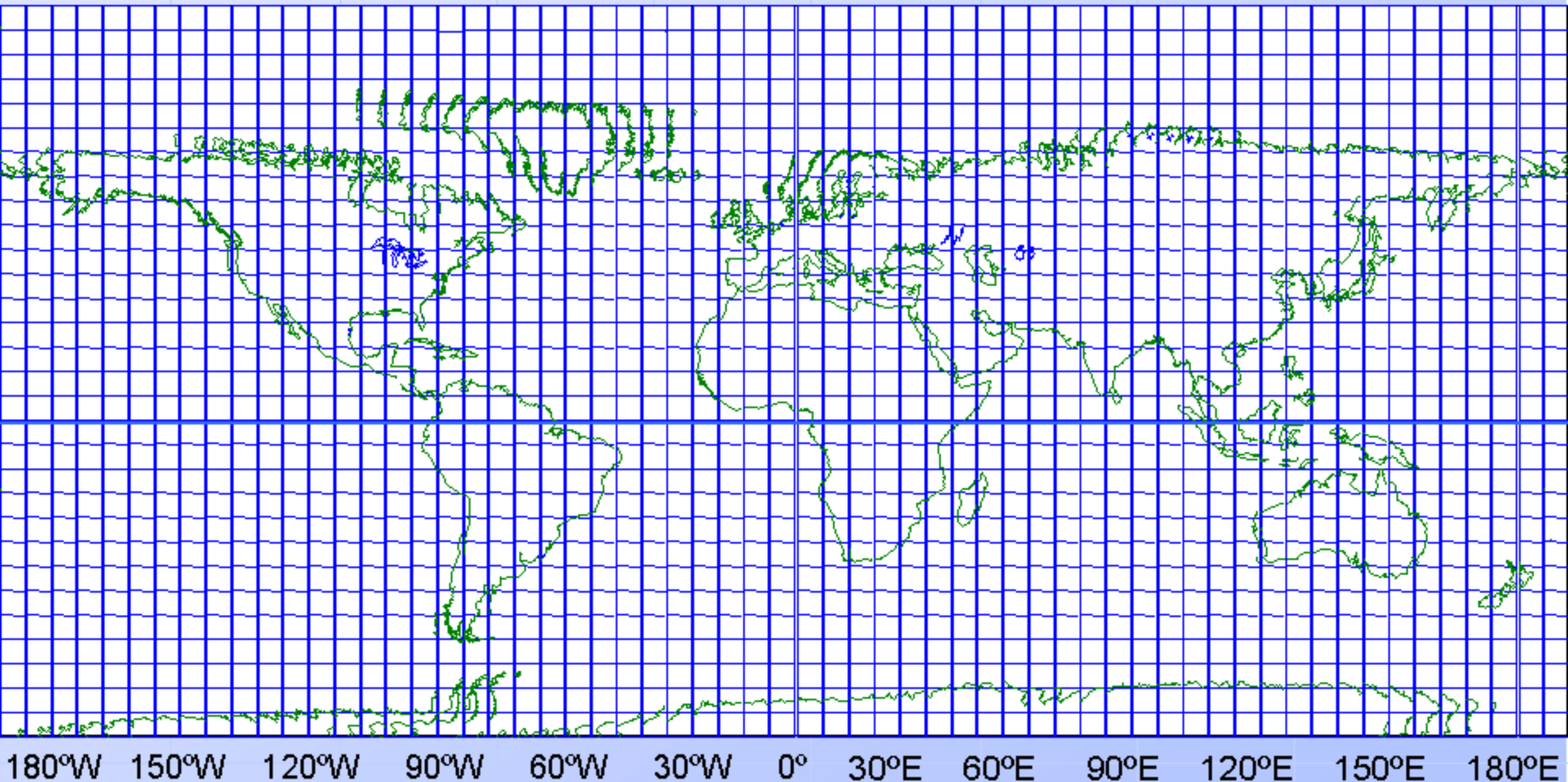
- A projeção UTM é uma *projeção analítica* que tem como objetivo minimizar todas as deformações de um mapa a níveis toleráveis, representando-os em um **sistema ortogonal**.
- Como foi visto na aula de projeções, a *projeção cilíndrica* tem distorção mínima na área próxima ao círculo de tangência/secância.
- A projeção UTM estende esta precisão ao longo da superfície da Terra, combinando diversas posições do *cilindro de projeção*.

Esquema da Projeção UTM

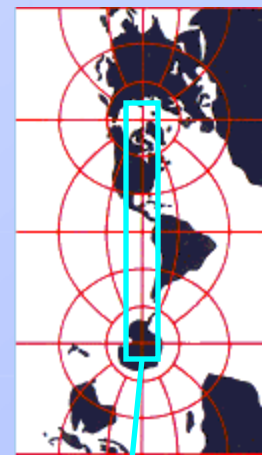
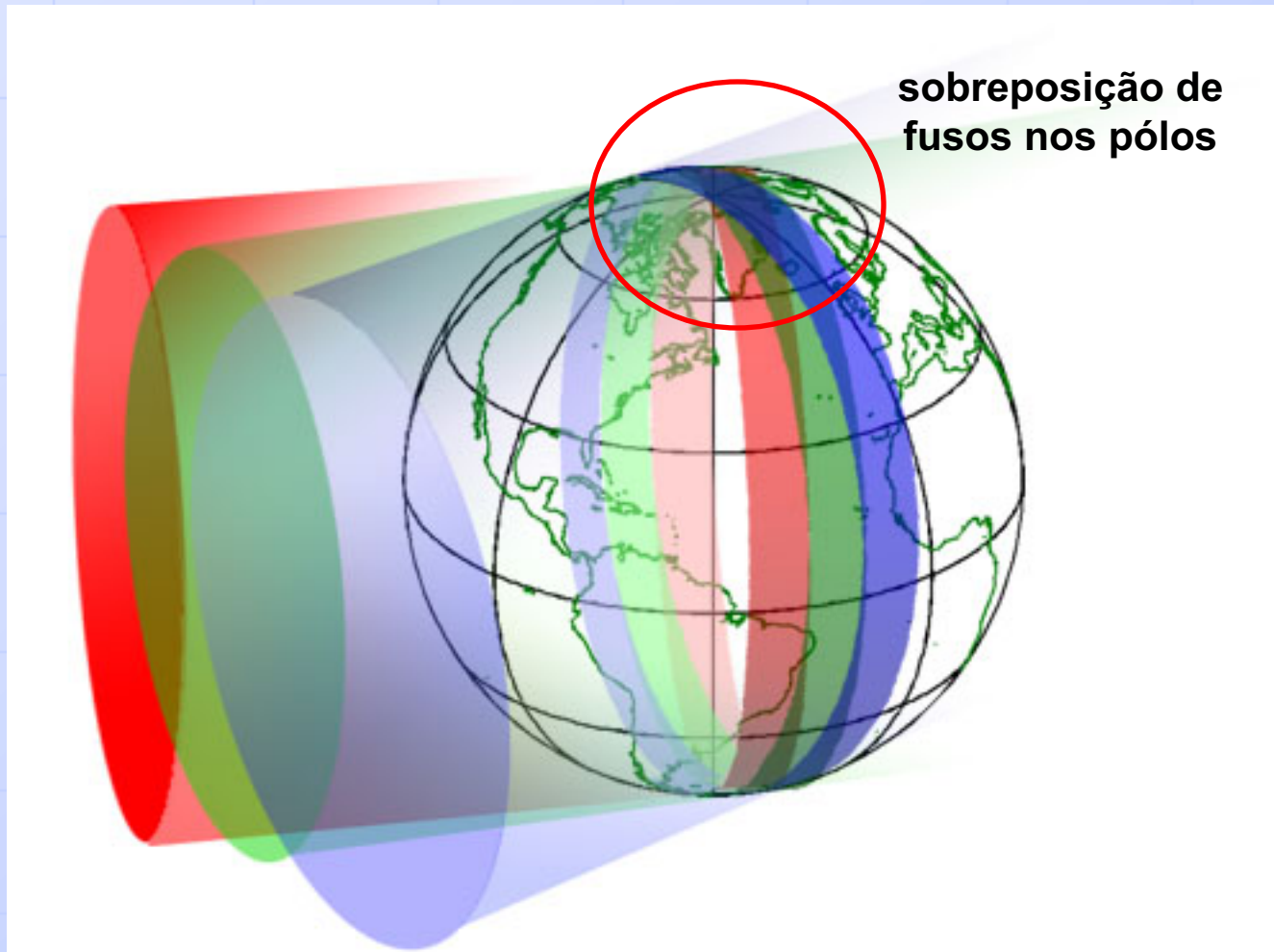


a, c — LINHAS DE SECÂNCIA
b — MERIDIANO CENTRAL

os 60 fusos da projeção UTM



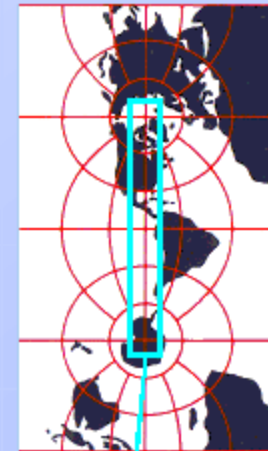
Esquema da Projeção UTM



Fuso central da
Projeção
Transversa

Cada fuso desenvolvido é um segmento da projeção transversa centrada no respectivo meridiano.

A sobreposição de fusos nos pólos faz com que os contornos continentais se repitam



Fuso central da
Projeção
Transversa

Qual a importância do Estudo da Projeção UTM para a Engenharia?

- Em projetos de Engenharia, é fundamental que se adote um sistema de coordenadas ortogonal.



Qual a importância do Estudo da Projeção UTM para a Engenharia?

- Quando realizamos levantamentos topográficos (pequena porção da superfície da Terra), usamos sistemas de coordenadas ortogonais.
- No caso de um levantamento cartográfico (distâncias superiores a 25 km), por exemplo, grandes cidades, municípios, é impossível utilizar um sistema ortogonal sem distorção, devido à curvatura da superfície da Terra.
- A projeção UTM permite abranger uma área extensa em um sistema ortogonal com significativo controle de distorções.

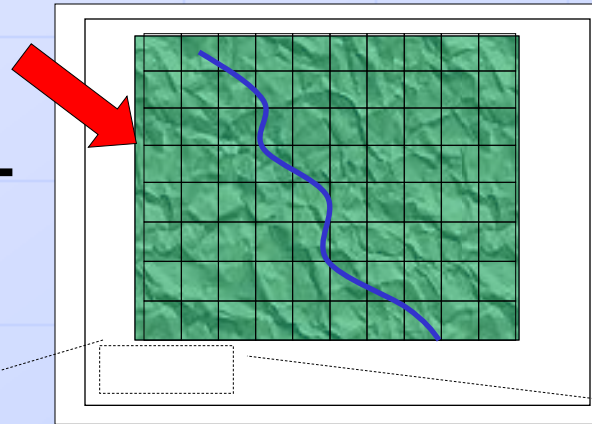
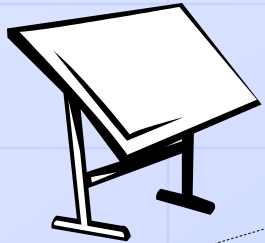
Qual a importância do Estudo do Sistema UTM para a Engenharia?

- Por suas características particulares, é a que mais se emprega em mapeamento, em trabalhos científicos, no planejamento, no projeto básico e no projeto executivo de um empreendimento de Engenharia.
- Atualmente, a falta de familiaridade dos engenheiros com o sistema têm prejudicado o andamento de muitos projetos.

Legenda de uma carta em UTM

“GRID”

ORTOGONAL



Você sabe interpretar essas informações?

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Datum vertical: Imbituba – SC

Datum horizontal: SAD-69

Origem das coordenadas do UTM: equador e meridiano central do fuso

Meridiano Central: -45° .

Convergência meridiana do centro da folha: $53'50''$

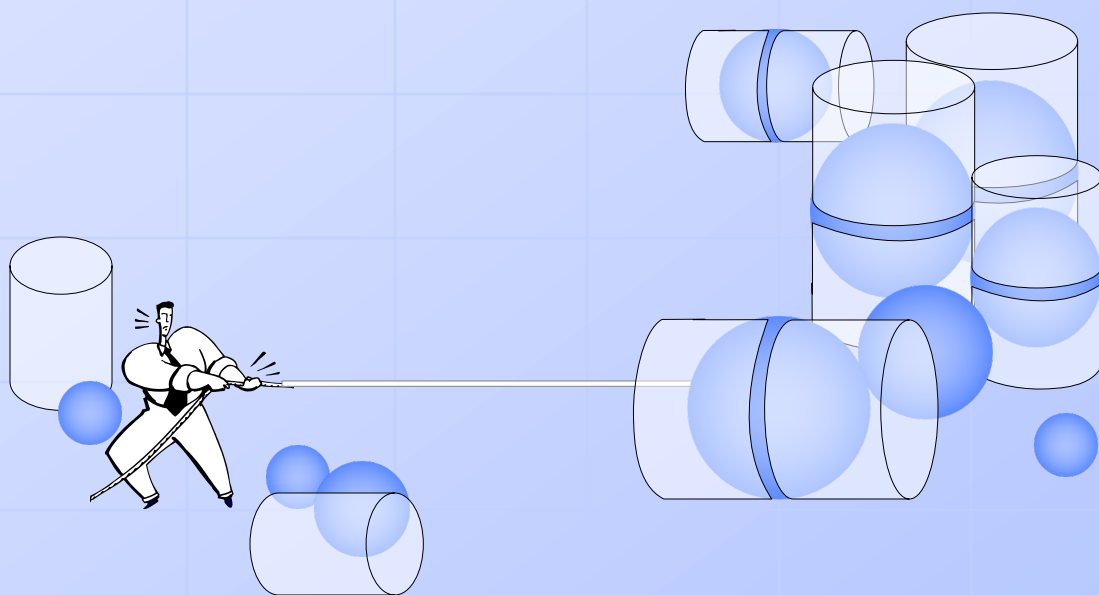
Fator escala: 0,9996

Projeção UTM: Breve Histórico

- Mercator foi o introdutor das projeções cilíndricas, e um dos pioneiros na confecção de Mapas de Navegação e Atlas.



Gerardus Mercator (1512 – 1594)



Projeção UTM: Breve Histórico

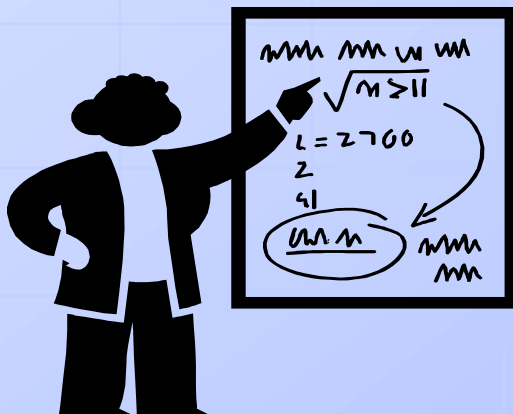
- J. H. Lambert, notável pelo desenvolvimento das projeções cônicas conformes, desenvolveu matematicamente o Sistema Universal Transverso de Mercator como se conhece atualmente.
- Este sistema foi utilizado sob a denominação de *Projeção de Gauss* desde 1866, quando foi feito o cálculo da triangulação de Hanover (Alemanha).



J. H. Lambert (1728-1777)

Projeção UTM: Breve Histórico

- Em 1912 surge o sistema Gauss-Kruger, em que os cálculos são logarítmicos e necessitam da obtenção de outros termos através de tabelas complexas.
- Entre as duas grandes guerras mundiais diversos países da Europa e a ex-URSS adotaram essa projeção para a confecção de seus mapas militares.

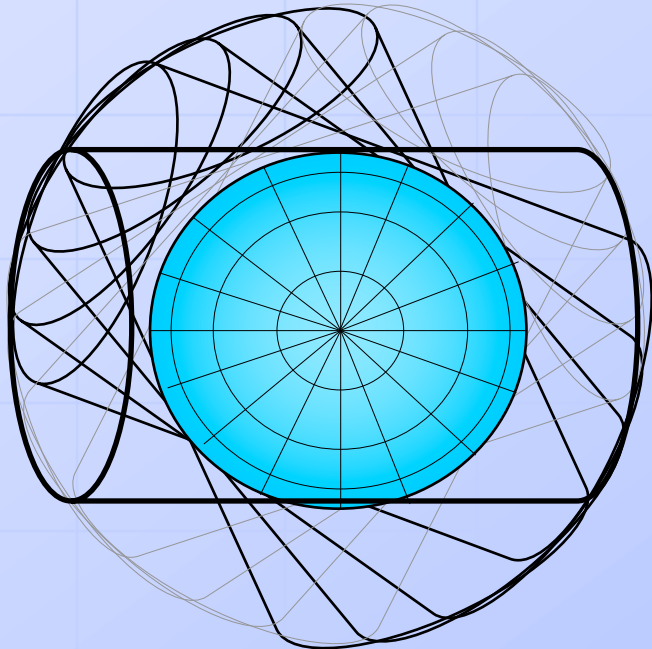


Projeção UTM: Breve Histórico

- O sistema em sua forma atual surgiu em 1947, em cartas militares do exército norte-americano.
- Em 1950, os EUA propuseram uma combinação para abranger a totalidade das longitudes, e o sistema, anteriormente chamado de Mercator-Gauss, recebeu a denominação atual: Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator (UTM).

Especificações da Projeção UTM

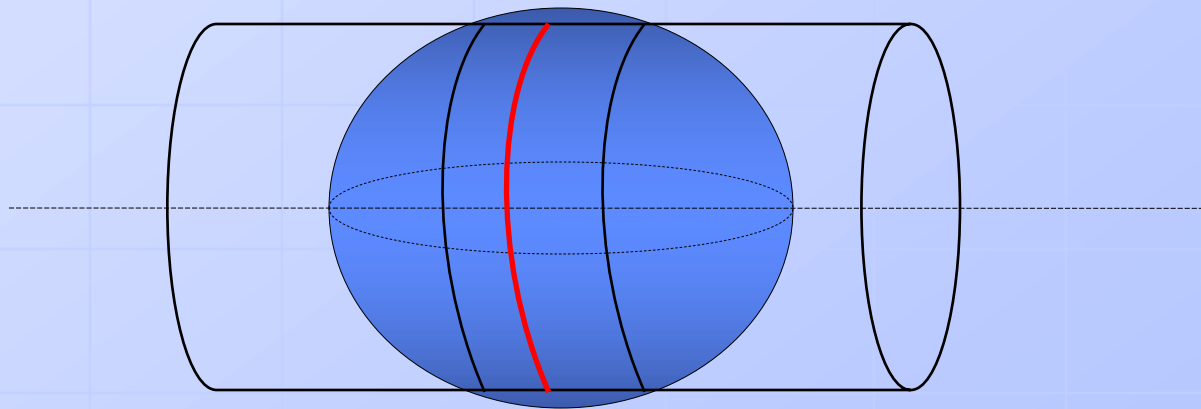
- O sistema proposto prevê a adoção de 60 cilindros de eixo transverso, obtidos através da rotação do mesmo no plano do equador, de maneira que cada um cubra a longitude de 6° , a partir do anti-meridiano (180°) de Greenwich.



Cada fuso de 6° do Elipsóide terrestre corresponde a um dos 60 cilindros.

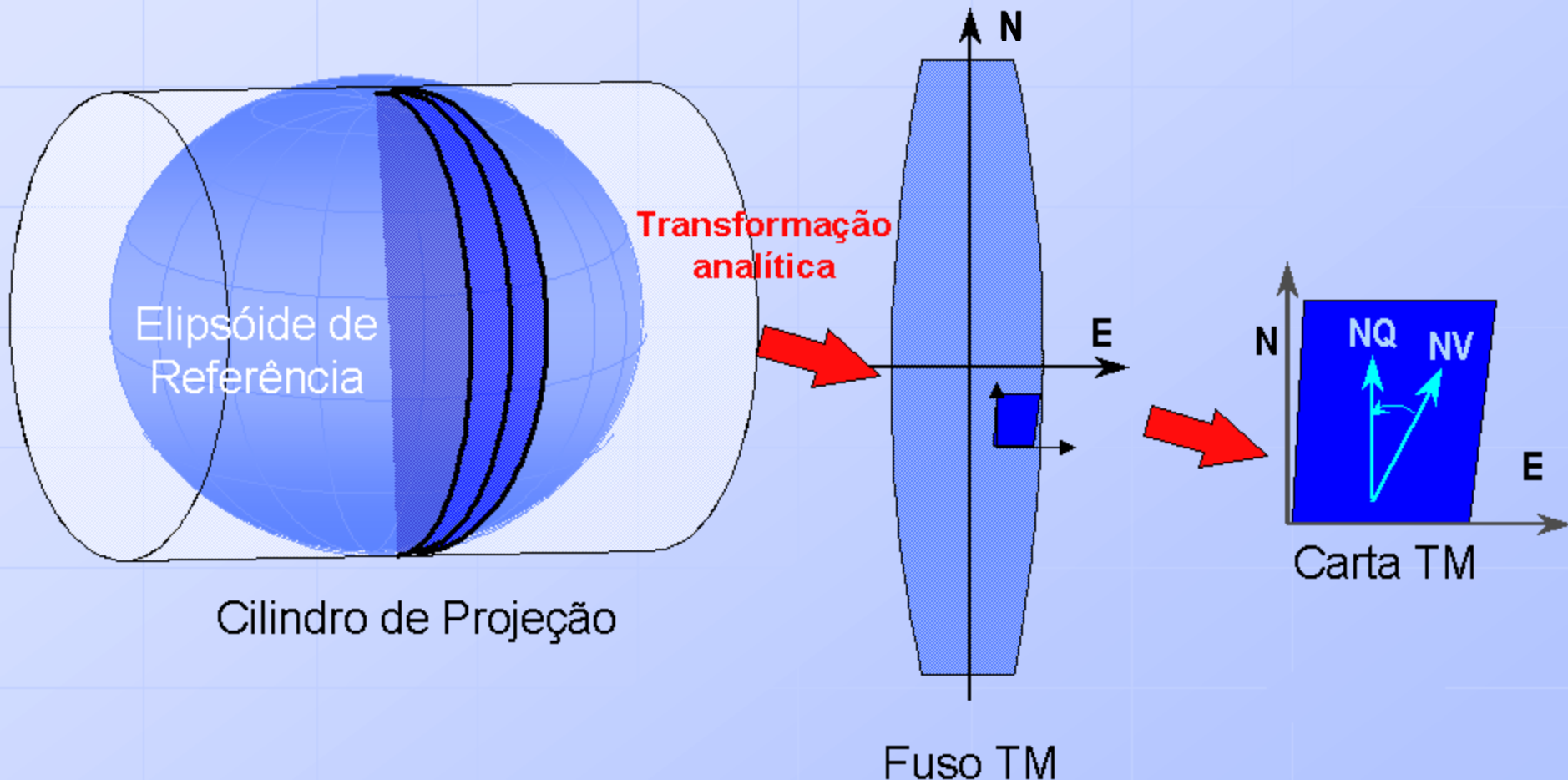
Especificações da Projeção UTM

- Projeção cilíndrica secante, conforme (conserva os ângulos), de acordo com os princípios de Mercator-Gauss, com uma rotação de 90° do eixo do cilindro, de maneira a ficar contido no plano do equador.



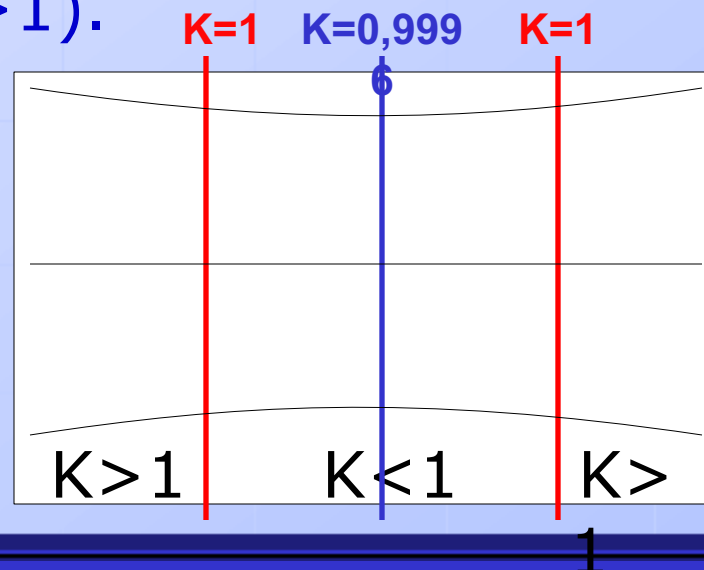
- Adota-se um elipsóide de referência para representar a Terra.

Esquema da Projeção UTM



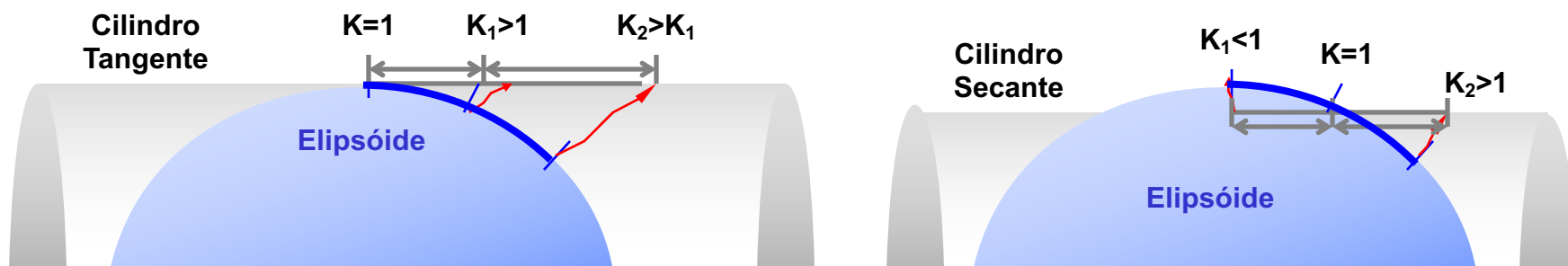
Fator de redução de Escala Ko

- $K_o = 1 - 1/2500 = 0,9996$
 - Deformação nula ($K = 1$) nos meridianos de secância;
 - Redução entre os meridianos de secância ($K < 1$);
 - Ampliação na área exterior aos meridianos de secância ($K > 1$).



A precisão da Projeção UTM

- Por que a projeção UTM é *secante*?



Cilindro tangente:

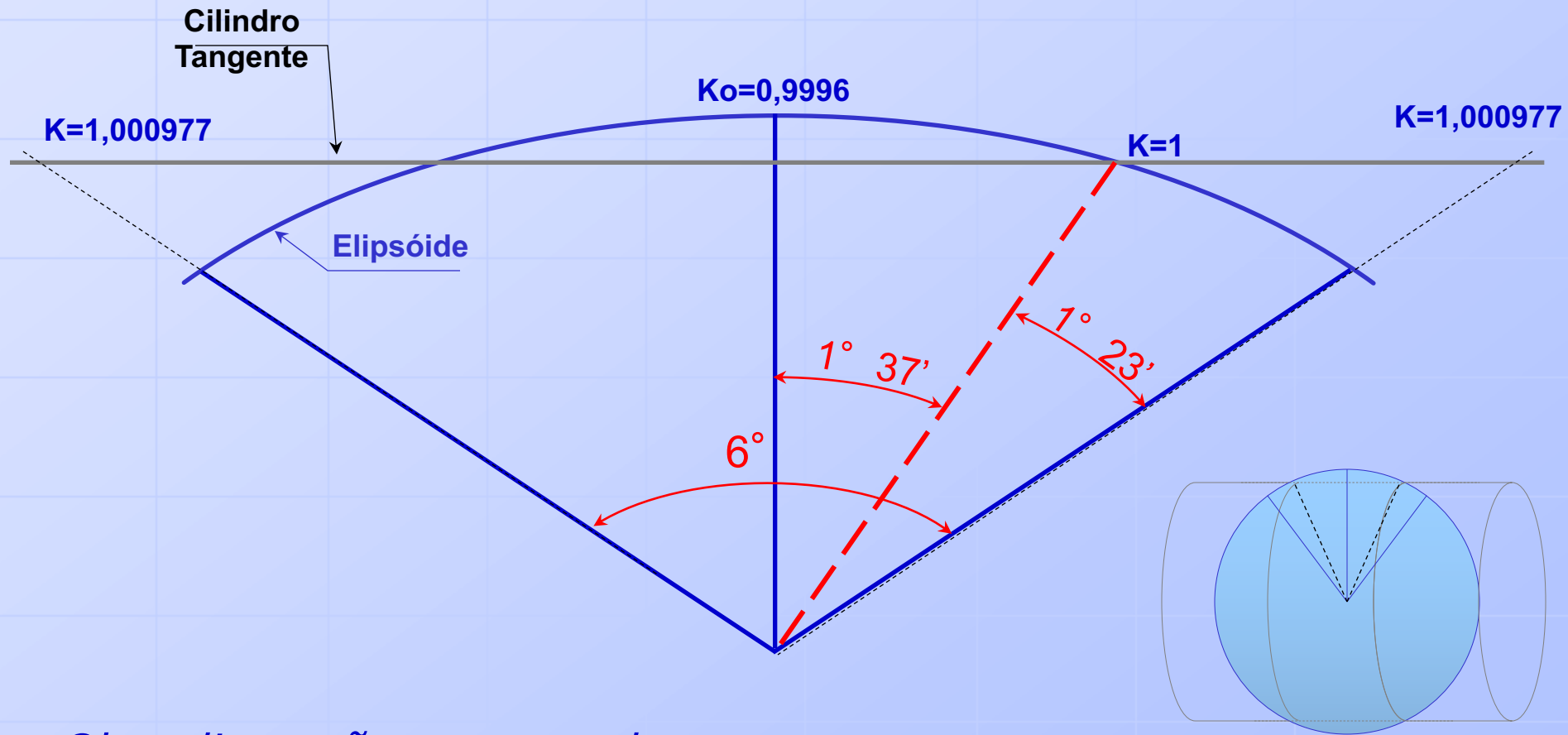
fator K aumenta na medida em que se afasta do ponto de tangência.

Cilindro secante:

considerando o mesmo arco na superfície do elipsóide, temos valores de K maiores e menores que 1.

fator K tem margem de aumento menor.

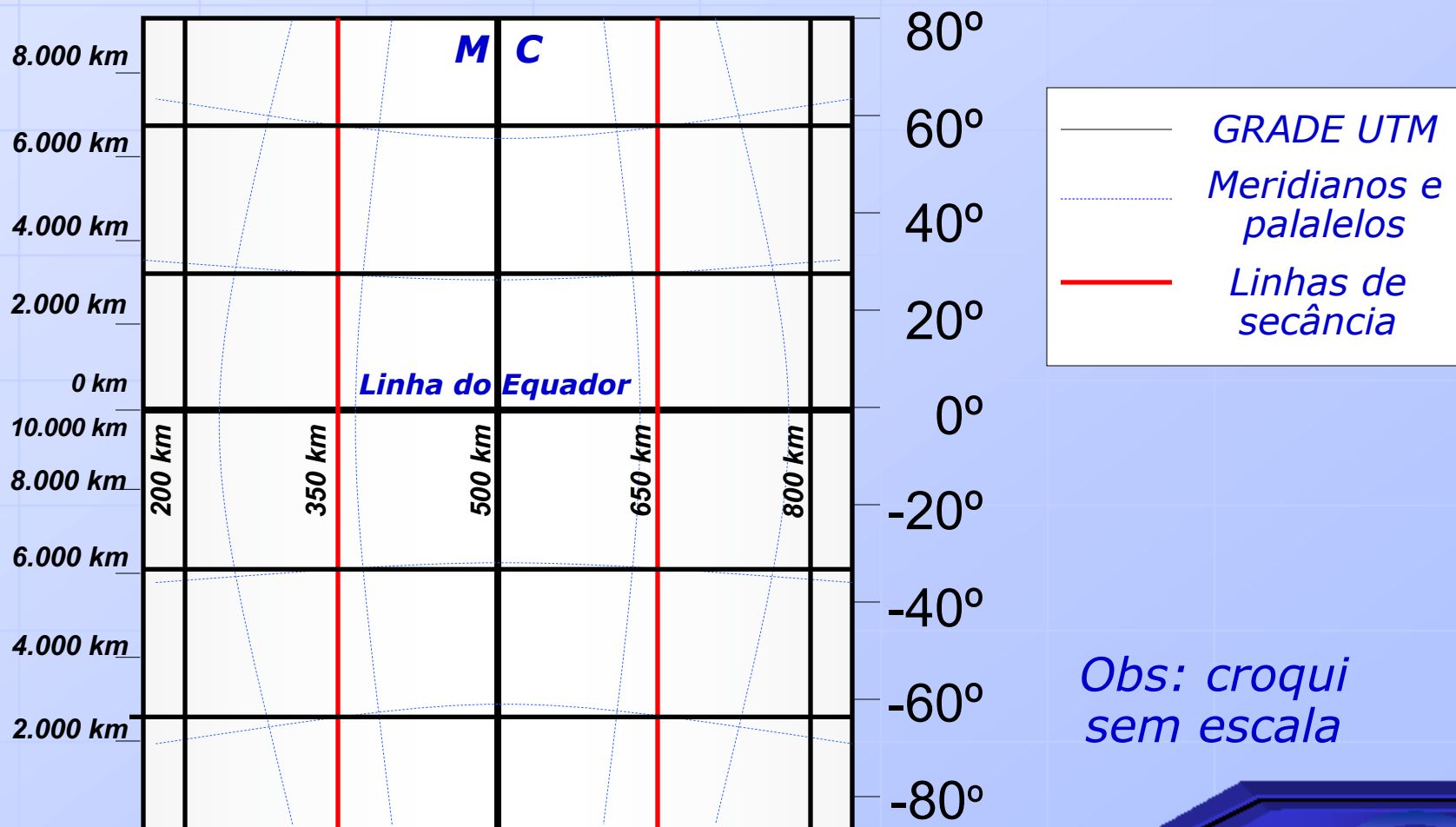
Fator de redução de Escala Ko



Características da Universal Transversa de Mercator

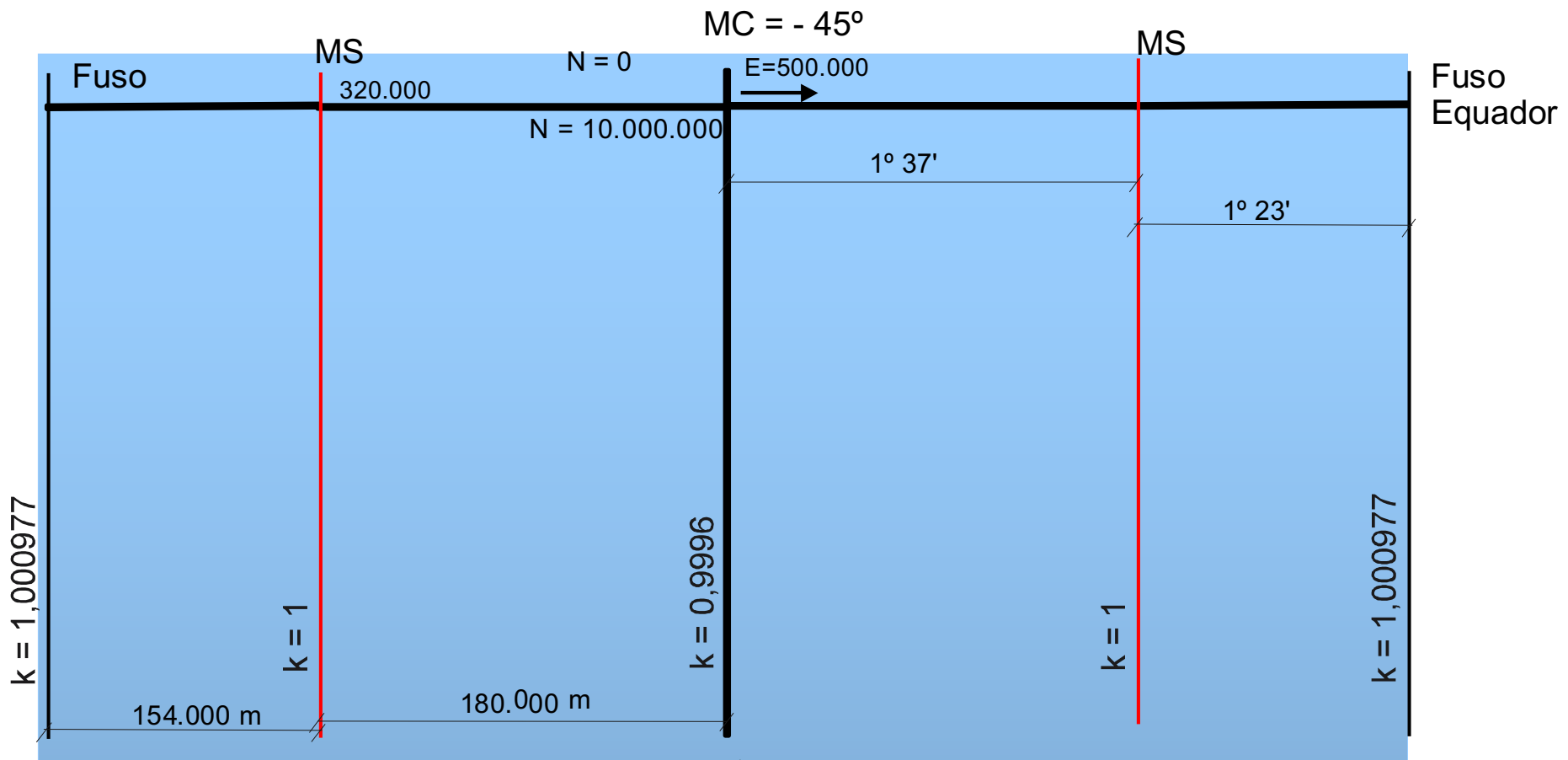
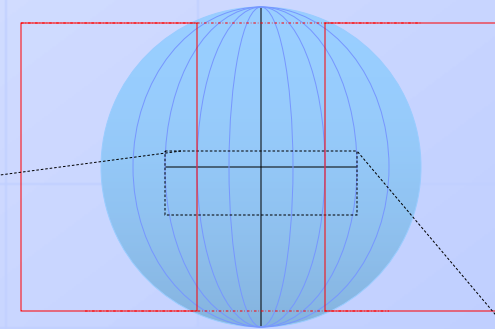
- A projeção UTM é limitada em latitude (de 80° N a 84° S);
- Meridianos Centrais: Múltiplos de 6° ;
- Origem das coordenadas plano-retangulares:
 - Na interseção do Plano do Equador com o meridiano central (MC) do fuso
 - $N = 0$ m para o Hemisfério Norte
 - $N = 10.000.000$ m para o Hemisfério Sul
 - $E = 500.000$ m

Características da Universal Transversa de Mercator



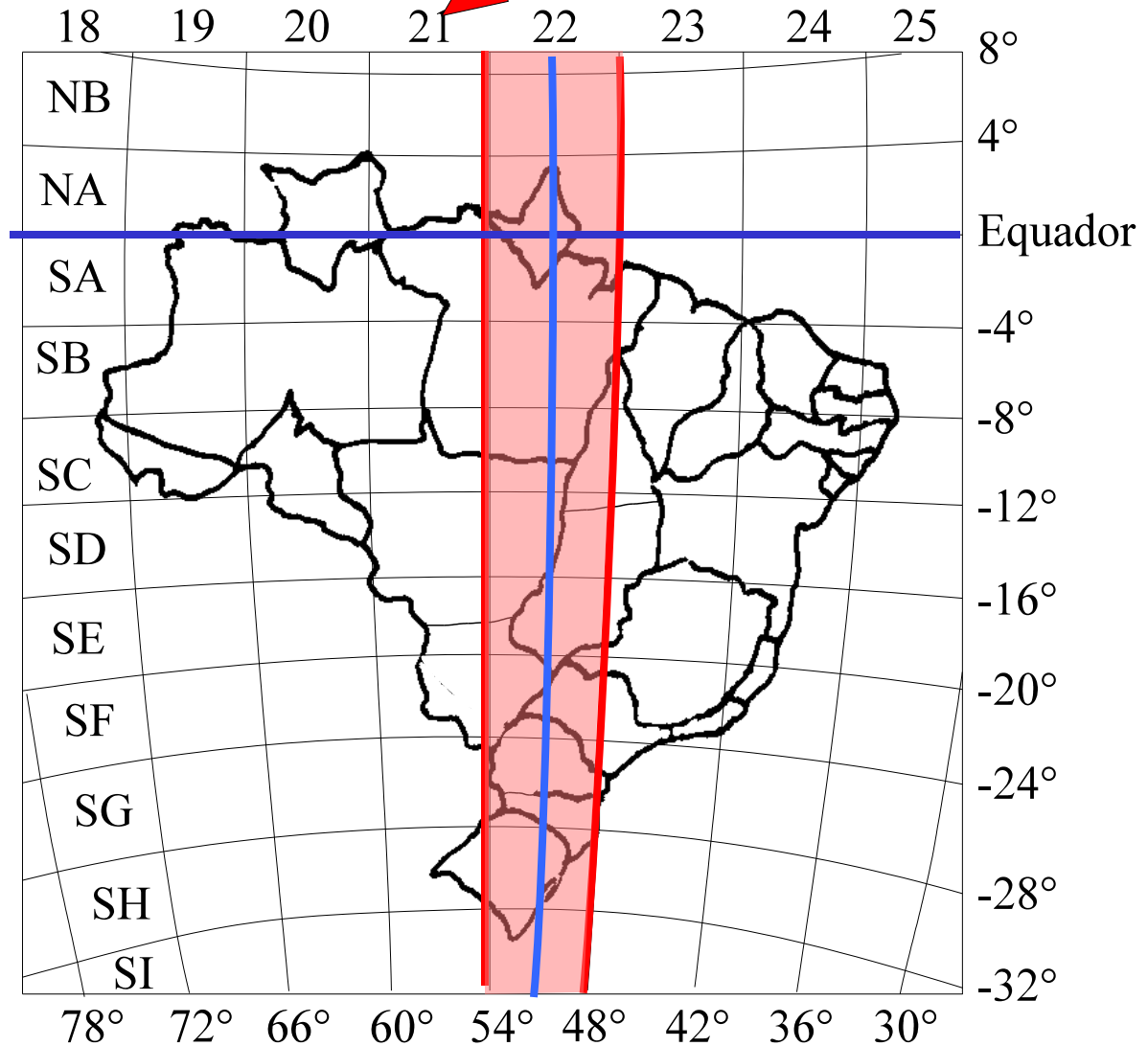
Obs: croqui sem escala

Características da UTM



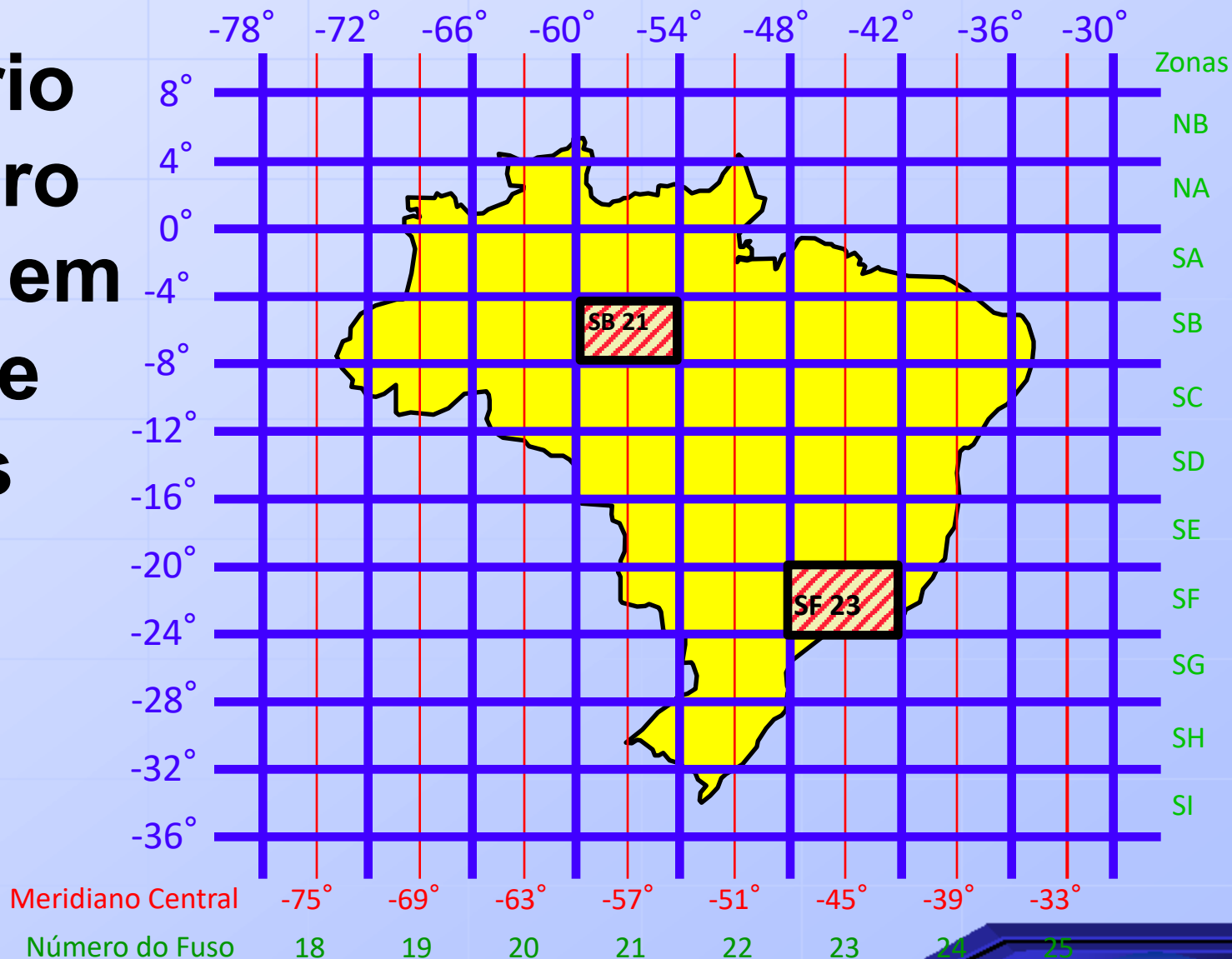
Território brasileiro dividido em fusos do Sistema UTM

- Meridiano Central: -51° a Oeste de Greenwich



Território brasileiro dividido em fusos e zonas

- SF 23: região da Cidade de São Paulo



Fonte: Adaptado de Ferreira, 1997

Superfícies a serem consideradas

Superfície Física

Materializada por levantamentos topográficos, aerofotogrametria e GPS

Geóide

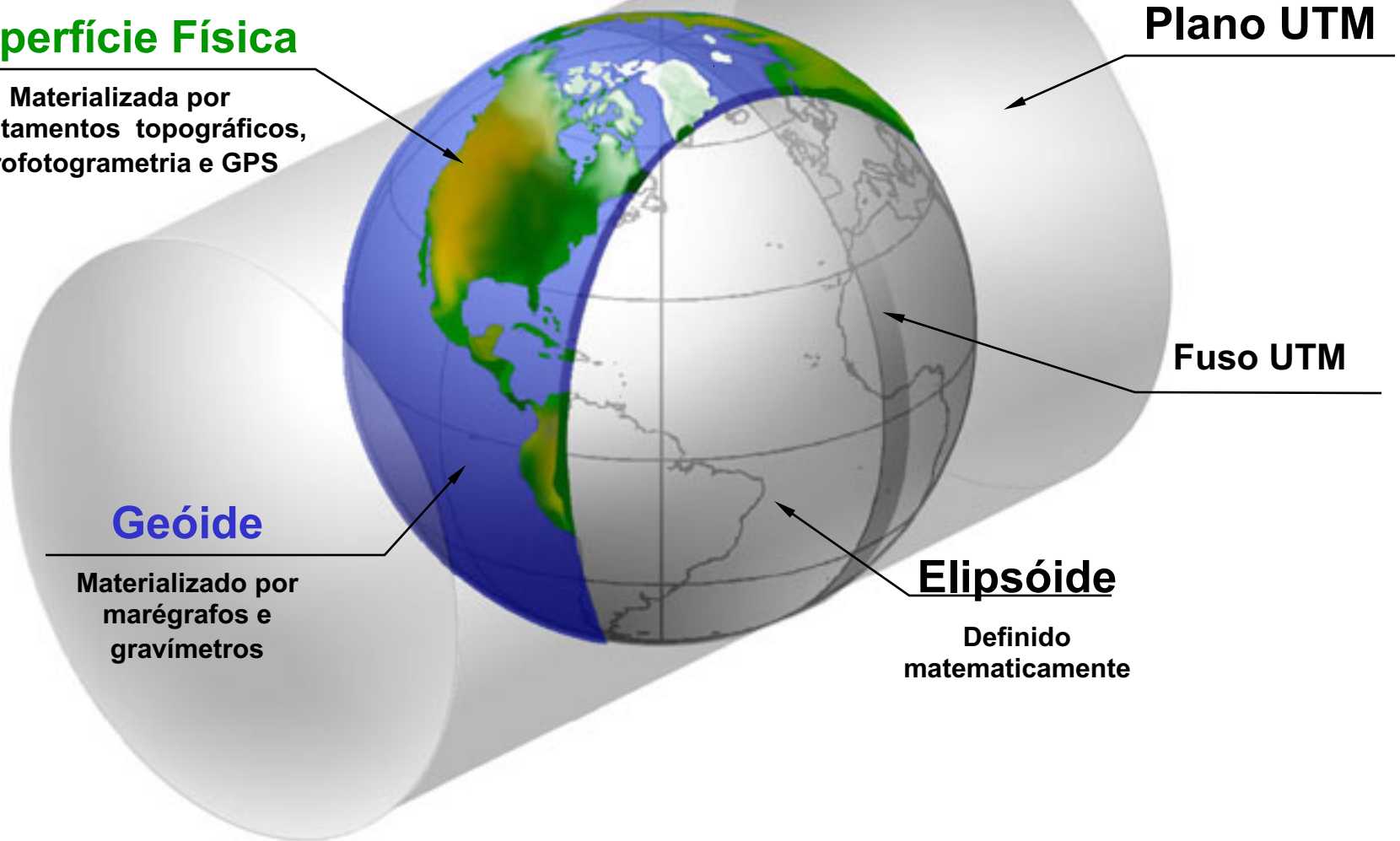
Materializado por marégrafos e gravímetros

Elipsóide

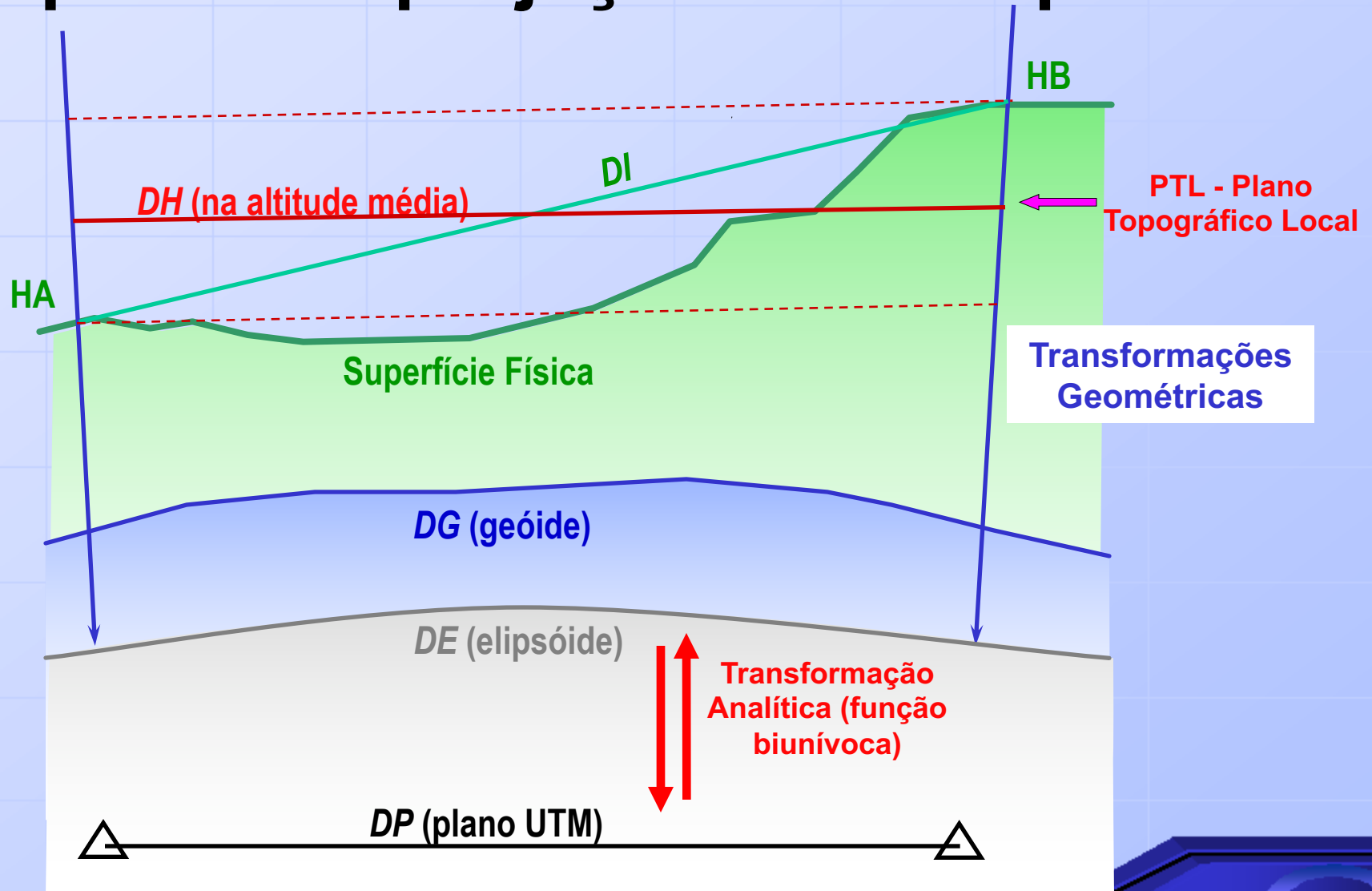
Definido matematicamente

Plano UTM

Fuso UTM



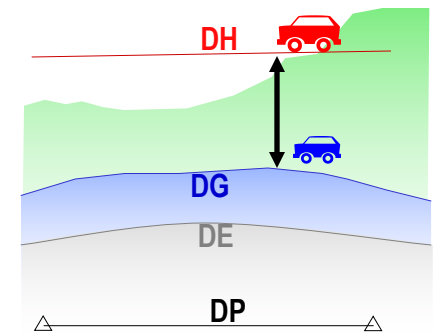
Esquema de projeção entre superfícies



Cálculo da distância sobre a Superfície de Raio Médio (\approx geóide)

Transformação
Geométrica

$$DG = DH - \frac{DH \cdot \Delta H}{R} + \frac{DH \cdot \Delta H^2}{R^2}$$



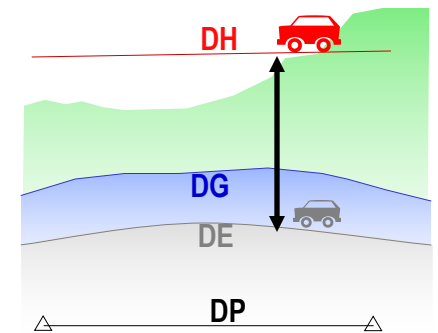
Onde:

- DG = distância sobre a superfície de raio médio (geóide)
- DH = distância horizontal (na altitude média)
- ΔH = altitude média
- R = raio médio terrestre ($\approx 6.378.000$ m)

Cálculo da distância sobre o Elipsóide

Transformação
Geométrica

$$DE = DG + \frac{DG^3}{24.R^2}$$



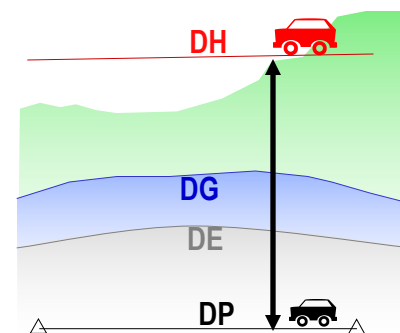
Onde:

- DE = distância sobre o elipsóide
- DG = distância sobre a superfície de raio médio (geóide)
- R = raio médio terrestre ($\approx 6.378.000$ m)

Cálculo da distância sobre o plano UTM

Transformação
Analítica

$$DP = K.DE$$

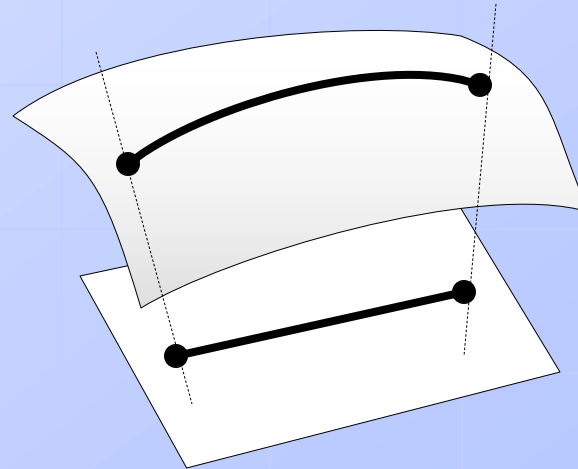


Onde:

- DP = distância sobre o plano UTM
- DE = distância sobre elipsóide
- K = fator de escala na região considerada (UTM)

Distorção Linear

$$k = \frac{k_0}{\sqrt{1 - [\cos\varphi_m \text{sen}(\lambda_m - \lambda_0)]^2}}$$

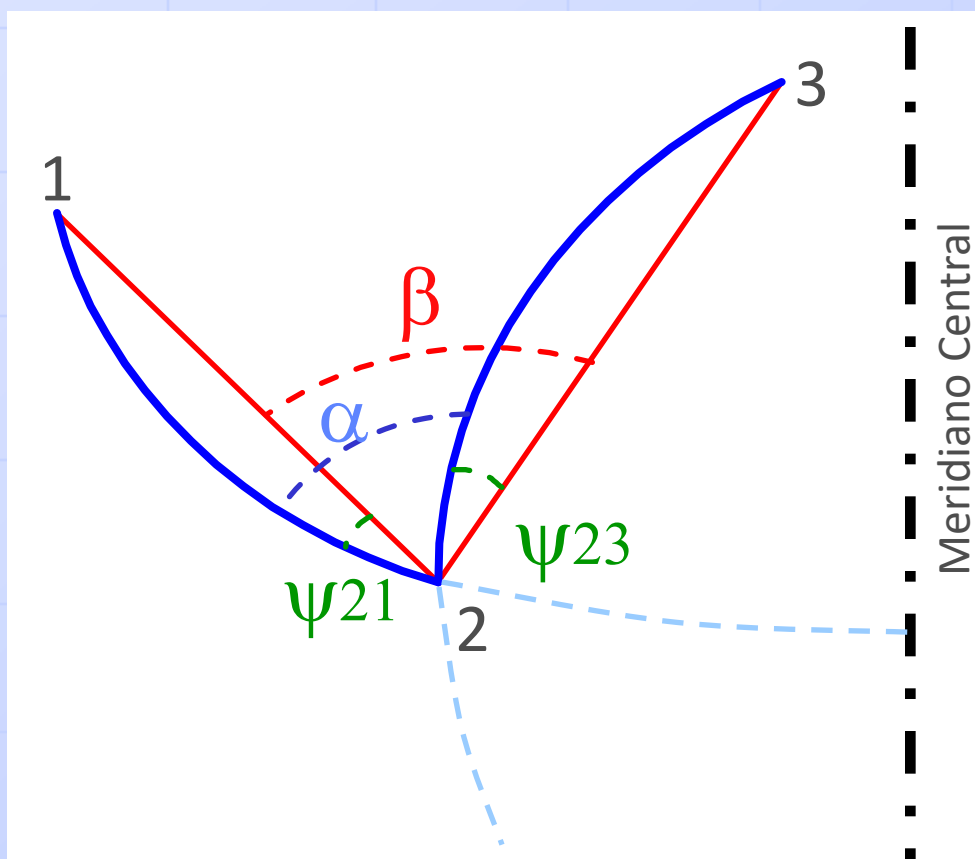


Onde:

- $K_0 = 0,9996$ (Fator de escala no meridiano central)
- K = Fator de escala no ponto de interesse
- φ_m, λ_m = Latitude e Longitude Médias do Segmento
- λ_0 = Longitude do Meridiano Central

Distorção Angular

Diferença entre o ângulo projetado β e o ângulo geodésico α :



Transformadas entre o plano UTM e o elipsóide

$$\alpha = \beta + \psi_{21} - \psi_{23}$$

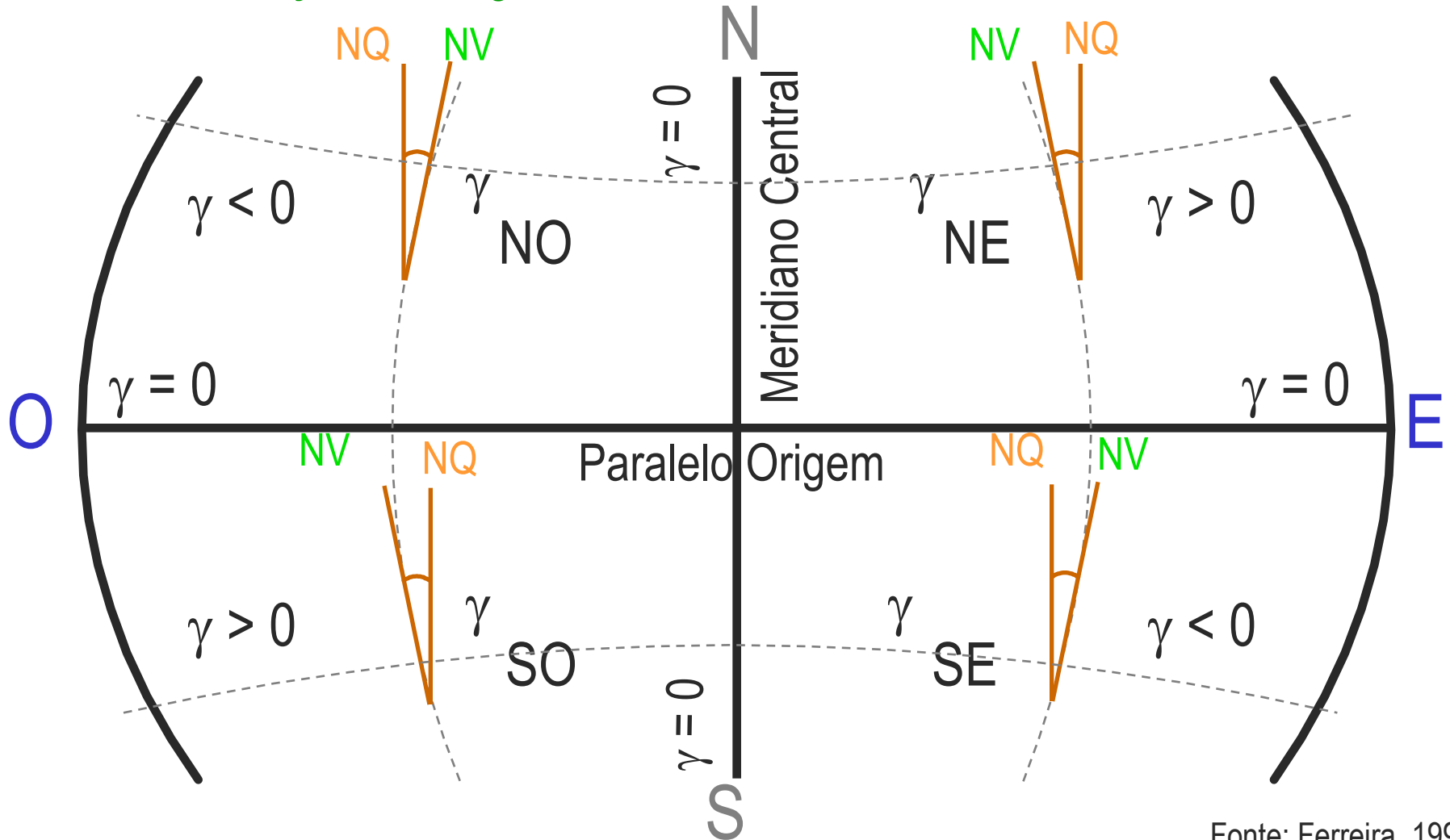
$$\beta = \alpha + \psi_{23} - \psi_{21}$$

Fonte: Ferreira, 1997

Diferença entre o Norte de Quadrícula - NQ - e o Norte Verdadeiro – NV (ou, Norte Geodésico – NG).

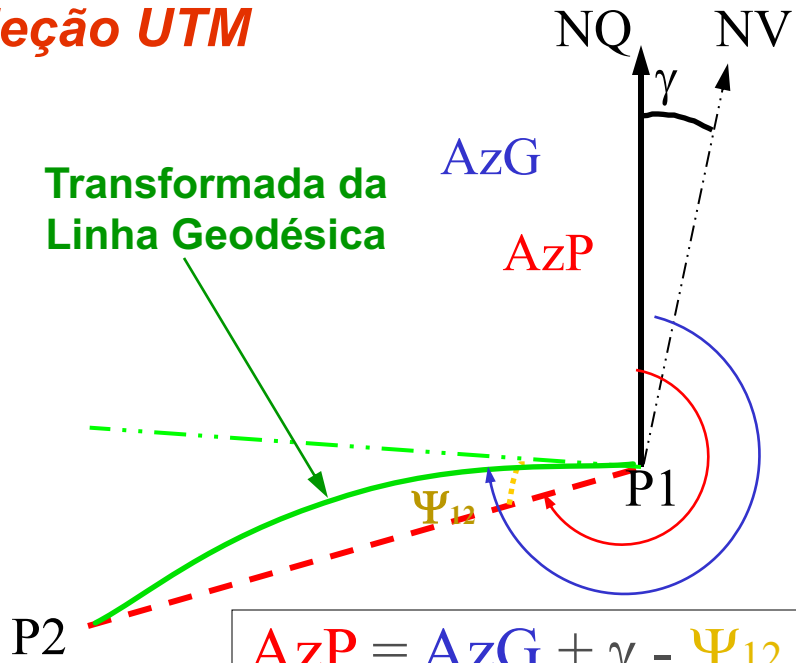
NQ - paralelo à direção das ordenadas do quadriculado

NV ou NG - direção da tangente à transformada do meridiano



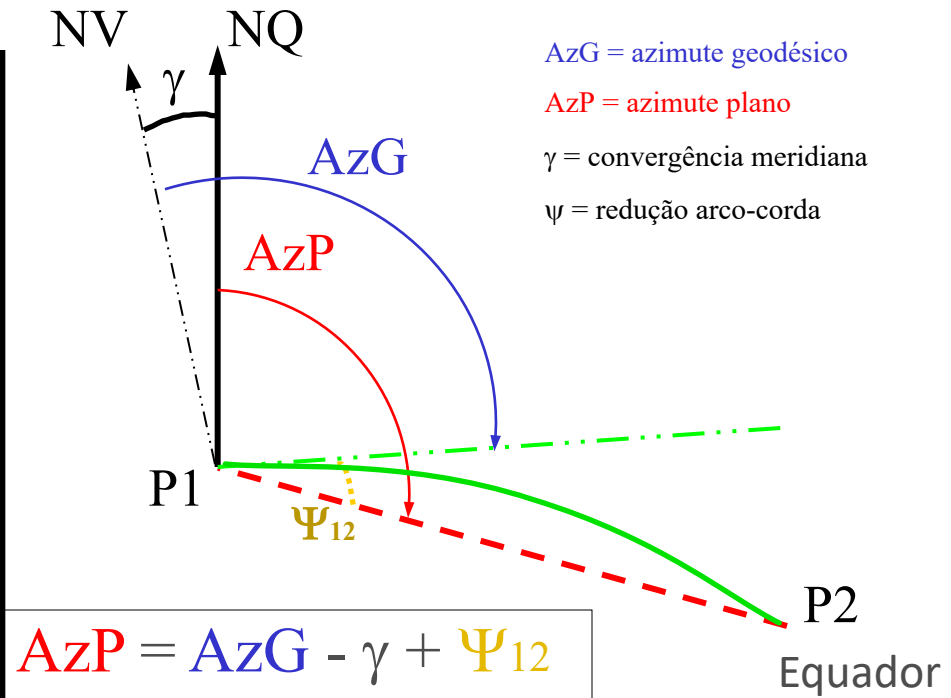
Projeção UTM

AzG = azimute geodésico
 AzP = azimute plano
 γ = convergência meridiana
 ψ = redução arco-corda



$$AzP = AzG + \gamma - \Psi_{12}$$

$$AzP = AzG - \gamma + \Psi_{12}$$



$$AzP = AzG - \gamma + \Psi_{12}$$

$$AzP = AzG + \gamma - \Psi_{12}$$

