

INFLUÊNCIA DA DEFORMAÇÃO LINEAR EM MAPEAMENTO PARA GESTÃO TERRITORIAL E PROJETOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA EM REGIÃO DE FRONTEIRA ENTRE BRASIL E ARGENTINA

*Influence of linear deformation in mapping for territorial management and
projects in different cartographic projection systems in border region between
Brazil and Argentina*

Guilherme Augusto Muzy

Universidade Federal do Pampa

Núcleo de Estudos em Cartografia e Agrimensura

Rua Luiz Joaquim de Sá Brito, s/n - Promorar – Itaqui – RS – CEP:97650-000
guilhermemuzyro@gmail.com

Leonard Niero da Silveira

Universidade Federal do Pampa

Núcleo de Estudos em Cartografia e Agrimensura

Rua Luiz Joaquim de Sá Brito, s/n - Promorar – Itaqui – RS – CEP:97650-000
leonardsilveira@unipampa.edu.br

Gabriel Kulmann Feijó

Universidade Federal do Pampa

Núcleo de Estudos em Cartografia e Agrimensura

Rua Luiz Joaquim de Sá Brito, s/n - Promorar – Itaqui – RS – CEP:97650-000
gabrielkulmannfeijo@hotmail.com

Marcela Ramos Trachta

Universidade Federal do Pampa

Núcleo de Estudos em Cartografia e Agrimensura

Rua Luiz Joaquim de Sá Brito, s/n - Promorar – Itaqui – RS – CEP:97650-000
marcelatrachta@gmail.com

Renan Manzoni Viana

Universidade Federal do Pampa

Núcleo de Estudos em Cartografia e Agrimensura

Rua Luiz Joaquim de Sá Brito, s/n - Promorar – Itaqui – RS – CEP:97650-000
renan_tshita@hotmail.com

Resumo:

As projeções cartográficas surgiram da necessidade de se representar feições de uma superfície curva em uma superfície plana, ou seja, representar elementos na superfície da Terra em um mapa. O tipo de sistema a ser utilizado depende do território a ser contemplado e quais os limites de deformação a serem tolerados. Tanto no Brasil quanto na Argentina são utilizados os sistemas derivados da projeção cilíndrica transversa de Mercator, sendo que no Brasil o mais utilizado é o Universal Transverso de Mercator (UTM) e na Argentina é utilizado o

Gauss-Krüger, adaptado especificamente para seu território. Além destes sistemas, também são utilizados o Local Transverso de Mercator (LTM), Regional Transverso de Mercator (RTM) e o Plano Topográfico Local (PTL), sendo que o município de Porto Alegre – RS utilizou por muito tempo o sistema de Gauss-Krüger padrão como referência cartográfica oficial. O objetivo do experimento foi definir o sistema que mais se aproxima do PTL quanto à distância linear, ou seja, que apresenta a menor distorção para aplicação em gestão territorial, implantação de projetos e obras em área de fronteira, onde foram efetuadas medidas de distâncias lineares nos sentidos aproximados Norte-Sul e Leste-Oeste com valores significativamente altos, de aproximadamente 1.740.000 m para melhor evidenciar as distorções. Verificou-se que o sistema mais adequado para a região de Itaqui, fronteira entre Brasil e Argentina, é o sistema RTM, porém, se a escolha recair sobre o sistema oficial de algum dos dois países, o sistema mais adequado é o Gauss-Krüger adaptado para o território argentino.

Palavras-chave: Cartografia; Projeção; Deformação; Território; Fronteira.

Abstract

The cartographic projections arose from the need to represent features in a curved surface on a flat surface, that is, represent elements on the surface of the Earth on a map. The type of system to be used depends on the territory to be contemplated and the limits of deformation to be tolerated. In Brazil and Argentina, the systems derived from Mercator's transverse cylindrical projection are used, and in Brazil the most widely used is the Universal Transverse Mercator (UTM) and in Argentina the Gauss-Krüger is used, specifically adapted for its territory. In addition to these systems, the Local Transverse Mercator (LTM), Regional Transverse Mercator (RTM) and the Local Topographic Plan (LTP) are also used, and the municipality of Porto Alegre - RS has long used the Gauss- Standard Krüger as an official cartographic reference. The objective of the experiment was to define the system that most closely approximates to the LTP in terms of linear distance, that is, that presents the least distortion for application in territorial management, implementation of projects and works in border area, where measurements of linear distances in the approximate north-south and east-west directions with significantly high values, of approximately 1,740.000 m to better evidence of the distortions. It has been verified that the most suitable system for the region of Itaqui, border between Brazil and Argentina, is the RTM system, however, if the choice rests on the official system of either country, the most appropriate system is the Gauss-Krüger adapted to the Argentina territory.

Keywords: Cartography; Projection; Deformation; Territory; Border.

1. INTRODUÇÃO

As projeções cartográficas surgiram da necessidade de representar a superfície terrestre em um mapa, ou seja, uma superfície curva em uma superfície plana, sendo assim, qualquer área, para uso prático em cartografia, poderá ser representada por uma carta, mapa ou planta, por meio da projeção dos pontos na superfície curva em uma superfície plana.

Desta forma, a área representada terá deformações (anamorfose) que não podem ser evitadas, porém pode-se minimizar seus efeitos por meio do conhecimento do grau de deformação que pode resultar na utilização de determinado sistema de projeção cartográfica, fazendo o uso de coeficientes de deformação para se evitar erros sistemáticos.

Todo projeto em áreas de fronteira internacional possui algumas especificidades que não são aplicadas em outros tipos de trabalhos devido aos sistemas de referência cartográfico e geodésico utilizados.

Para obras dentro do território nacional são utilizados referências oficiais de cada país, no entanto, em obras e projetos binacionais é necessária a utilização de um sistema único para que não haja problemas de integração com obras realizadas dentro das zonas fronteiriças.

No Brasil, grande parte do mapeamento cartográfico utiliza o sistema Universal

Transverso de Mercator (UTM), tendo como sistema geodésico de referência o SIRGAS2000 enquanto na Argentina o sistema cartográfico de referência é o Gauss-Krüger, porém adaptado, para minimizar deformações (IGN, 2018). O sistema geodésico adotado no país vizinho é o POSGAR07 (*Posiciones Geodésicas Argentinas*), que segundo o Instituto Geográfico Nacional, mantém a compatibilidade com o sistema SIRGAS.

No intuito de gerir territórios de fronteira e facilitar a confecção de projetos e implantação de obras de integração, deve-se determinar um sistema cartográfico único para utilização simultânea dos dois países e evitar transtornos de ordem técnica em tal implantação.

Tendo em vista a necessidade de se integrar projetos internacionais, foi efetuada a aferição da influência das deformações lineares em cinco sistemas de projeção cartográfica e comparados ao sistema plano topográfico local. Os referenciais cartográficos definidos derivam do sistema de projeção cilíndrica transversa de Mercator: Universal Transversa de Mercator (UTM), Regional Transversa de Mercator (RTM), Local Transversa de Mercator (LTM), Gauss-Krüger e Gauss-Krüger adaptado para o território da Argentina. UTM, RTM e LTM são projeções cujas superfícies de contato são secantes enquanto o sistema Gauss-Krüger é tangente. O sistema plano topográfico local também tem contato tangente com a superfície de referência, porém sua origem é local.

O trabalho teve como área de estudos o município de Itaquí – RS, fronteira com a república Argentina, junto ao município de Alvear, onde utilizaram-se métodos clássicos de implantação (locação) com estações totais, na qual há a influência da deformação na medida de distâncias lineares, com a verificação de valores de distorção nos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste em linhas longas e determinação do sistema de projeção cartográfica mais adequado para a fronteira Brasil-Argentina na região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Em levantamentos para coleta de dados efetuados sobre a superfície terrestre, por métodos clássicos de poligonação, os valores de ângulos locais e distâncias horizontais devem ser reduzidos à ângulos e distâncias planas sobre um sistema de projeção cartográfica para que possam ser representados em uma carta, mapa ou planta.

Existem diversas opções de projeções cartográficas, sendo que as mais utilizadas para mapeamentos sistemáticos no Brasil (IBGE, 2018) e na Argentina (IGN, 2018) são as derivadas do sistema transversa cilíndrico de Mercator. Para o mapeamento local, em uma fração reduzida da superfície terrestre, é geralmente utilizado um plano topográfico local.

2.1 Os sistemas de projeção UTM, LTM e RTM

O sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) trata-se de um caso do sistema de projeção cilíndrico transversa de Mercator e tem como característica principal a divisão do globo terrestre em 60 fusos com amplitude de 6° de longitude, sendo numerados de um a sessenta a partir do antemeridiano de Greenwich de Leste para Oeste. O meridiano central (MC) divide o fuso em duas partes iguais com 3° de amplitude. Sendo uma projeção secante, possui dois meridianos que tocam a superfície de projeção e, portanto, tem fator de

deformação de escala unitário ($K=1$). No meridiano central o fator de deformação linear (K_0) vale 0,9996. A origem do sistema é a intersecção do meridiano central com o equador, onde a abscissa (E) vale 500.000,000 m e a ordenada (N) vale 10.000.000,000 m para o hemisfério sul.

O sistema de projeção Local Transverso de Mercator (LTM) tem como característica fusos com amplitude 1° , delimitado por meridianos com valores de longitude inteiros e meridianos centrais em valores fracionários distando $30'$ das bordas do fuso. O coeficiente de escala (K_0) no meridiano central tem valor de 0,999995, com origem das coordenadas no cruzamento do meridiano central do fuso com o equador, sendo que neste ponto a abscissa X vale 200.000,000 m e ordenada Y vale 5.000.000,000 m para o hemisfério sul. O sistema LTM também é secante e tem dois meridianos com fator de escala unitário ($K=1$).

O sistema de coordenadas planas Regional Transversa de Mercator (RTM) foi concebido para os mapeamentos intermediários entre os sistemas de coordenadas planas UTM e LTM. Aconselha-se o seu uso em áreas cuja a localização esteja entre dois fusos do sistema UTM. Suas características são fusos com 2° de amplitude fazendo com que suas bordas tenham valores de longitude pares e meridianos centrais com valores ímpares. O coeficiente de escala (K_0) no meridiano central é igual ao do LTM, com origem das coordenadas no cruzamento do meridiano do fuso com o equador sendo neste ponto a abscissa X valendo 400.000,000 m e a ordenada Y valendo 5.000.000,000 m para o hemisfério sul. É igualmente uma projeção secante.

A figura 1 mostra a diferença de amplitude entre os sistemas de projeção UTM (6°), RTM (2°) e LTM (1°).

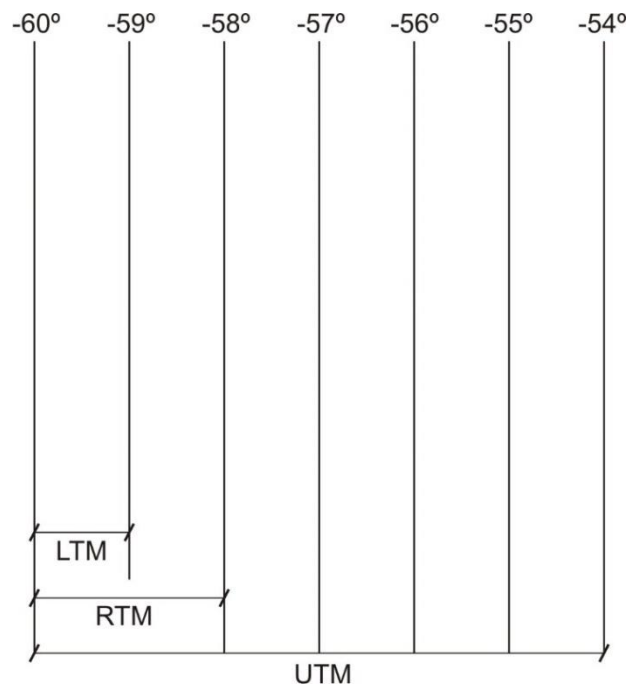


Figura 1 – Amplitude dos fusos UTM, RTM e LTM

Fonte: Silveira, 2017

2.2 Sistema Plano Topográfico Local

Segundo a NBR 14.166 (ABNT, 1998), o Plano Topográfico Local (PTL) é uma superfície tangente ao elipsoide de referência no ponto de origem do sistema topográfico e tem dimensão máxima de 100 km x 100 km (50 km a partir do ponto de origem), correspondente à área máxima de abrangência de um sistema topográfico local. O PTL deve sempre ser elevado ao nível médio do terreno.

O PTL tem como característica principal a sua origem local e o fato de melhor representar as feições sobre o terreno por apresentar menor distorção, porém, sua abrangência é limitada.

A figura 2 mostra a representação do Plano Topográfico Local em relação ao elipsoide, onde estão evidenciados o seu ponto de origem e suas dimensões máximas em relação a este.

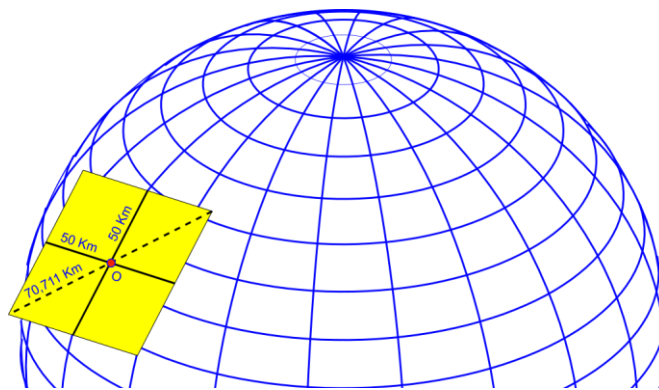


Figura 2 – Representação do Plano Topográfico Local.

Fonte: Silveira, 2017

2.3 Sistema de Gauss-Krüger

A projeção de Gauss-Krüger (GK) também é um sistema de projeção transversa de Mercator como os sistemas UTM, RTM e LTM, porém, com o meridiano central tangenciando a superfície de referência (contato entre a superfície de referência e a superfície de projeção tangente), logo o coeficiente de escala K_0 no meridiano central é unitário. É dividido em 120 fusos com amplitude de 3° , com a origem das coordenadas no cruzamento do meridiano central com o Equador, com a abscissa X valendo 200.000.000 m e a ordenada Y valendo 5.000.000.000 m para o hemisfério sul.

Dependendo do sentido do desenvolvimento do território de um país (predominantemente Leste-Oeste ou Norte-Sul) o sistema de Gauss-Krüger pode ser adaptado às necessidades cartográficas do país.

Segundo o IGN (2018), o território argentino é dividido em 7 fusos no sistema de Gauss-Krüger entre as longitudes de $52^\circ 30' W$ e $73^\circ 30' W$, numeradas de 1 a 7 de Oeste para Leste. A origem das coordenadas Norte é o polo sul onde N vale 0 m. As coordenadas Este, com origem no meridiano central de cada fuso, têm o valor atribuído ao fuso correspondente conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1- Fusos ou faixas Gauss-Krüger para a Argentina.

Faixa	MC	Limite da Faixa	Valor de origem Este
1	-72°	-73° 30' / -70° 30'	1.500.000
2	-69°	-70° 30' / -67° 30'	2.500.000
3	-66°	-67° 30' / -64° 30'	3.500.000
4	-63°	-64° 30' / -61° 30'	4.500.000
5	-60°	-61° 30' / -58° 30'	5.500.000
6	-57°	-58° 30' / -55° 30'	6.500.000
7	-54°	-55° 30' / -52° 30'	7.500.000

Fonte: <http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/ProduccionCartografica/sistemas-de-proyeccion>

Pelo menos duas faixas (fusos) do sistema argentino estão sobre o território brasileiro e podem atender uma possível base cartográfica integrada entre os dois países: as faixas 6 e 7 conforme mostra a figura 3.



Figura 3 – Sistema Gauss-Krüger para o território argentino.

Fonte:

http://www.cicytpt.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/SIG_2009_Tema8.pdf

2.4 Sistema de projeção cartográfica para gestão de obras em território fronteiriço

Em regiões de fronteira, para integrar projetos internacionais, deve-se sempre optar por um sistema de referência geodésico e cartográfico único para os dois países, para que não venha a ocorrer problemas.

Para as américas, o sistema geodésico de referência é o SIRGAS, porém, o sistema de projeção cartográfica pode variar para cada país, como é o caso do Brasil e Argentina. Enquanto no Brasil as cartas topográficas do mapeamento sistemático estão em UTM (IBGE, 2018), o mapeamento cartográfico oficial da Argentina usa o Gauss-Krüger.

No caso de implantação por métodos clássicos, deve-se sempre optar pelo sistema de projeção cartográfica que tiver o valor do coeficiente de deformação linear mais próximo da unidade ($K=1$) na região onde se está trabalhando, para que haja a possibilidade de minimizar, ou mesmo eliminar erros na medida de distâncias horizontais devido à influência danosa da curvatura terrestre na cartografia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada entre as longitudes $56^{\circ}32'56''W$ e $56^{\circ}33'52''W$ e latitudes $29^{\circ}10'30''S$ e $29^{\circ}09'24''S$, no município de Itaquí-RS, sendo uma das duas linhas de visada estabelecida no sentido aproximado à linha Norte-Sul ao longo da Avenida Luís Joaquim de Sá Brito, acesso sul à cidade de Itaquí e a linha no sentido aproximado Leste-Oeste em posição quase perpendicular à linha anterior.

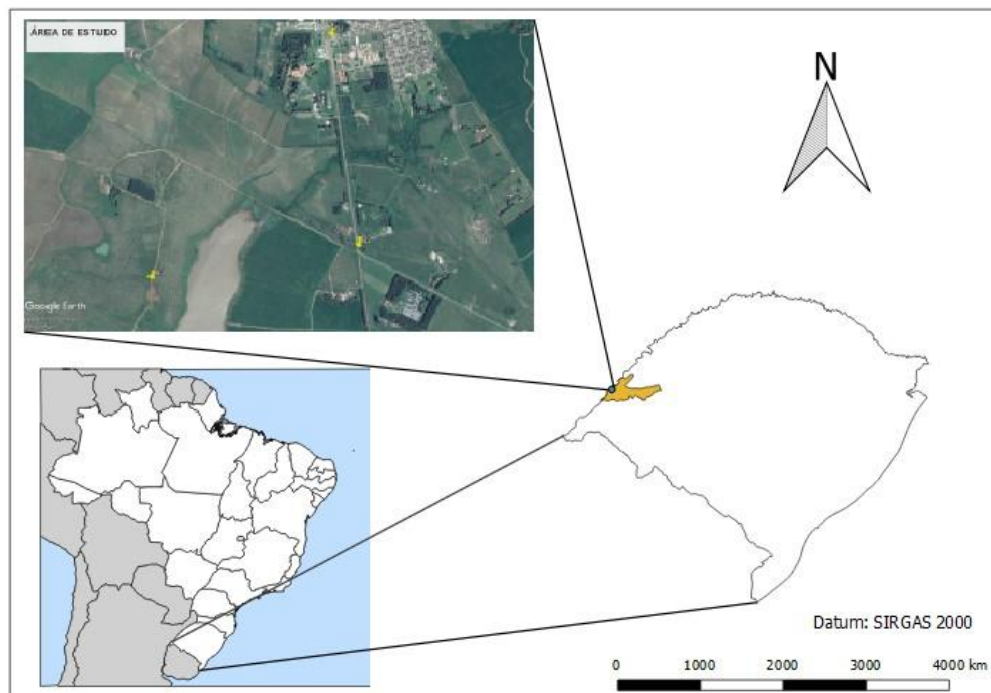


Figura 4 – Mapa de situação da área de estudos.

Fonte: Imagem do GoogleEarth

Para a coleta dos dados de controle do experimento foram utilizados receptores GNSS marca Ashtech, modelo ProMark500, com precisão nominal de $\pm(3\text{mm}+1\text{ppm})$ vezes a linha de base.

O processamento e ajustamento dos rastreios para a obtenção das coordenadas foram efetuados no software Topcon Tools.

Para o levantamento de campo por métodos clássicos, com coleta de dados de ângulos verticais e distâncias, foi utilizada uma estação total marca Trimble, modelo 5500 DR200 com precisão angular nominal de $3''$ e precisão linear nominal de $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ vezes a distância medida. Todas as medidas efetuadas foram corrigidas dos efeitos atmosféricos com a informação de temperatura e pressão no momento da coleta de dados.

As reduções das distâncias inclinadas locais para distâncias planas nos diversos sistemas de projeção cartográfica (UTM, RTM, LTM, PTL, Gauss-Krüger e Gauss-Krüger adaptado ao sistema cartográfico argentino) foram efetuadas em planilha eletrônica e no aplicativo Geoplani Transfgeo.

Para a medida das distâncias e de ângulos por métodos topográficos convencionais com estação total e no intuito de se obter uma distância linear suficientemente longa para se aferir os efeitos da distorção linear, foram implantados três vértices materializados por estacas de madeira (piquetes), sendo o vértice de intersecção entre as linhas Norte-Sul e Leste-Oeste denominado de E2 e os das extremidades denominados de E1 e E3, com distância entre pontos de aproximadamente 1.740 m.

Para fins de controle da precisão das distâncias medidas com a estação total foi efetuado o transporte de coordenadas por meio de rastreio dos sinais provenientes dos sistemas de posicionamento baseados em satélites artificiais denominado *Global Navigation Satellite System - GNSS*. O método utilizado para o transporte de coordenadas foi o relativo estático com tempo de ocupação suficiente para se obter soluções fixas, uma vez que as linhas de bases não foram superiores a 2.000 m. Os receptores foram configurados para uma taxa de gravação de 15s e máscara de elevação (ângulo de corte em relação ao Horizonte) de 10° .

As coordenadas foram transportadas a partir do SAT91989, vértice pertencente à rede planimétrica do sistema geodésico brasileiro. Para este ponto, são disponibilizadas pelo IBGE as coordenadas planas UTM e geodésicas elipsoidais (latitude e longitude), sendo que para os demais sistemas as coordenadas tiveram que ser transformadas.

As coordenadas transportadas e transformadas para os três vértices abordados neste trabalho são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1- Coordenadas dos pontos E1, E2 e E3 transportadas por meio do GNSS.

Sistemas		E1	E2	E3
UTM	E (m)	543.864,955	544.079,103	542.352,517
	N (m)	6.774.550,666	6.772.818,438	6.772.549,305
RTM	X (m)	443.882,289	444.096,521	442.369,253
	Y (m)	1.773.276,104	1.771.543,236	1.771.273,952
LTM	X (m)	195.236,577	195.458,172	193.732,104
	Y (m)	1.773.359,264	1.771.627,365	1.771.350,741
PTL	X (m)	149.779,089	150.000,000	148.273,794

Sistemas		E1	E2	E3
GK	Y (m)	251.732,017	250.000,000	249.724,058
	X (m)	97.942,109	98.178,459	96.454,575
	Y (m)	1.772.888,932	1.771.158,750	1.770.867,411
GK _{ARG.}	E (m)	6.543.882,508	6.544.096,742	6.542.369,465
	N (m)	6.775.225,699	6.773.492,823	6.773.223,538

A partir das coordenadas dos pontos nos diversos sistemas de projeção cartográfica, foram calculadas as distâncias a partir da equação 1

$$\text{Distância} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (1)$$

Os valores de distâncias nos diversos sistemas de projeção cartográfica são apresentados na tabela 2.

Tabela 2- Distâncias planas nos diversos sistemas de projeção cartográfica.

Sistemas	E1-E2	E2-E3
UTM	1.745,370 m	1.747,443 m
LTM	1.746,019 m	1.748,094 m
RTM	1.746,060 m	1.748,133 m
PTL	1.746,048 m	1.748,122 m
GK	1.746,251 m	1.748,329 m
GK _{ARG}	1.746,069 m	1.748,142 m

A coleta das distâncias e ângulos verticais em campo com a estação total foi dividida em dois momentos, sendo o primeiro sobre a linha de orientação aproximada Norte-Sul, por meio dos vértices E1 e E2. No segundo momento foi efetuada a mensuração na linha de orientação aproximada Leste-Oeste.

Os levantamentos foram efetuados utilizando o método das direções em três séries de medidas nas posições direta e inversa do equipamento, visando a minimização do erro do zênite instrumental. As medidas foram efetuadas durante uma semana, em períodos alternados (manhã e tarde) e informando temperatura e pressão para minimizar ao máximo os efeitos atmosféricos na média aritmética final dos valores.

As medidas foram recíprocas (em número de cinco sessões de dez medidas para cada linha) para minimizar os efeitos do não paralelismo das linhas verticais para que com as distâncias inclinadas e ângulos verticais (distâncias zenitais) fosse possível a redução para as distâncias horizontais, geoidais, elipsoidais e finalmente para a superfície de projeção cartográfica.

Tomaram-se os devidos cuidados quanto à obtenção da altura do instrumento quando estacionado em todos os vértices (E1, E2 e E3) além de se medir a altura do sinal (altura do prisma) para se evitar a propagação de erros sistemáticos.

A figura 4 mostra a condição de redução das distâncias coletadas em campo.

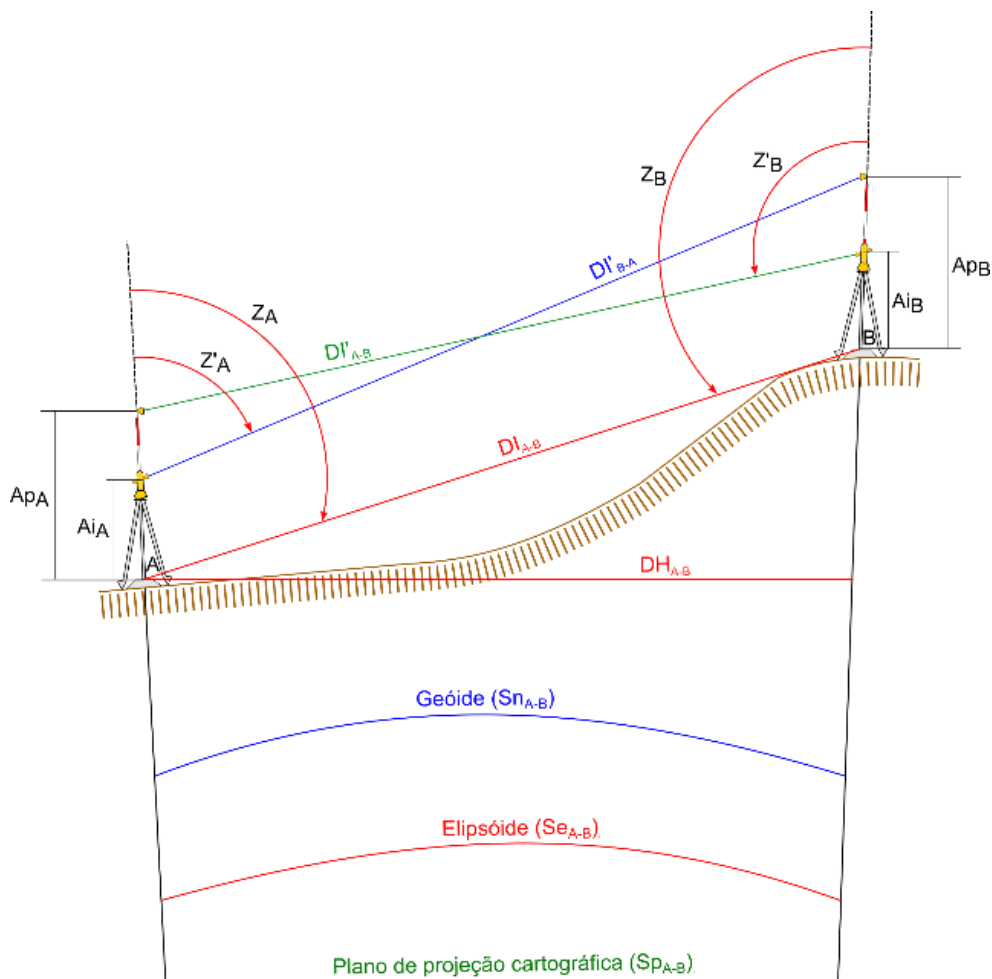


Figura 4 – Não paralelismo das linhas verticais e redução das distâncias.
Fonte: Silveira, 2017

- Onde:
- DI'_{A-B} = Distância inclinada lida do ponto A para o ponto B;
 - DI'_{B-A} = Distância inclinada lida do ponto B para o ponto A;
 - DI_{B-A} = Distância inclinada reduzida ao nível dos pontos (solo);
 - DH_{A-B} = Distância horizontal do ponto A para o ponto B;
 - Ai_A = Altura do instrumento no ponto A;
 - Ai_B = Altura do instrumento no ponto B;
 - Ap_A = Altura do sinal (prisma/refletor) no ponto A;
 - Ap_B = Altura do sinal (prisma/refletor) no ponto B;
 - Z'_A = Distância zenital medida no ponto A;
 - Z'_B = Distância zenital medida no ponto B;
 - Z_A = Distância zenital ao nível do solo no ponto A;
 - Z_B = Distância zenital ao nível do solo no ponto B;
 - Sn_{A-B} = Distância geoidal do ponto A para o ponto B;
 - Se_{A-B} = Distância elipsoidal do ponto A para o ponto B;
 - Sp_{A-B} = Distância plana do ponto A para o ponto B.

As equações utilizadas para as reduções da distância zenital ao nível do solo são:

$$Z_A = Z'_A + \frac{(A_{p_B} - A_{i_A}) \cdot \text{sen} Z'_A}{D_{I_{A-B}} \cdot \text{sen} Z'_A \cdot \text{sen} 1''} \cdot \frac{1}{3600} \quad (2)$$

$$Z_B = Z'_B + \frac{(A_{p_A} - A_{i_B}) \cdot \text{sen} Z'_B}{D_{I_{B-A}} \cdot \text{sen} Z'_B \cdot \text{sen} 1''} \cdot \frac{1}{3600} \quad (3)$$

Sendo a distância horizontal, também reduzida ao nível médio do terreno dado por:

$$DH_{A-B} = D_{I_m} \cdot \cos\left(\frac{Z_B - Z_A}{2}\right) \quad (4)$$

Onde:

$$D_{I_m} = \frac{D_{I_{A-B}} - D_{I_{B-A}}}{2} \quad (5)$$

A redução da distância horizontal diretamente para a superfície elipsoidal pode ser realizada sem passar pela superfície do geóide por meio da equação 6.

$$S_{e_{A-B}} = \frac{DH_{A-B}}{R_m + H_m} \cdot \left[R_m + \frac{DH_{A-B}^2}{24 \cdot (R_m + H_m)} \right] \quad (6)$$

Sendo H_m a altitude média entre os dois vértices.

Onde:

$$R_m = \sqrt{N_m \cdot M_m} \quad (7)$$

$$N_m = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi_m}} \quad (8)$$

$$M_m = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi_m)^{1,5}} \quad (9)$$

Sendo R_m o raio médio de curvatura do elipsoide, N_m a grande normal, M_m o raio de curvatura da seção meridiana e ϕ_m a latitude média entre os dois pontos.

Para a redução da distância elipsoidal à superfície do plano de projeção cartográfica é necessária a determinação do coeficiente de deformação linear para a linha, inclusive levando em conta a altitude média, conforme o sistema utilizado de acordo com as equações 10 e 11.

$$K = \frac{K_0}{\sqrt{1 - [\cos\phi_m \cdot \sin(\lambda_m - \lambda_{MC})]^2}} \quad (10)$$

$$K_r = \left(\frac{R_m}{R_m + H_m} \right) \cdot K \quad (11)$$

A distância plana é determinada segundo a equação 12.

$$S_{p_{A-B}} = DH_{A-B} \cdot K_r \quad (12)$$

A partir da diferença entre as distâncias sobre os planos de projeção UTM, RTM, LTM, GK e GK_{ARG} e o PTL (por meio dos dados obtidos em campo com a estação total), é possível verificar qual sistema tem a menor distorção linear e que distância plana mais se aproxima do plano topográfico local.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados obtidos, processados e ajustados por meio do rastreamento dos sinais do GNSS e transformados no aplicativo Transfgeo (aplicativo desenvolvido para o Excel), obteve-se as coordenadas UTM, RTM, LTM, GK, PTL e GK_{ARG} como já foi mostrado na tabela 1.

A partir das coordenadas foi efetuado o cálculo das distâncias sobre os diversos planos de projeção cartográfica, também já apresentados na tabela 2.

Com o rastreamento GNSS obteve-se as coordenadas cartesianas geocêntricas com as quais foi possível obter as coordenadas geodésicas elipsoidais de cada vértice como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Coordenadas geodésicas dos pontos.

Pontos	Latitude	Longitude
E1	-29°09'24,71718"	-56°32'56,25813
E2	-29°10'20,97194"	-56°32'48,08404
E3	-29°10'29,93011"	-56°33'51,96797"

A transformação das coordenadas geodésicas elipsoidais para os demais sistemas de projeção cartográfica não foi difícil devido à disponibilidade de softwares específicos para este fim, no entanto, as coordenadas GK_{ARG} tiveram que ser convertidas manualmente devido à indisponibilidade de aplicativos para tal intento. A área de estudo está localizada na faixa 6 do sistema GK_{ARG}.

A tabela 4 mostra as coordenadas no sistema Gauss-Krüger do sistema cartográfico argentino aplicado à vértices geodésicos em território brasileiro.

Tabela 4 – Coordenadas GK_{ARG} dos pontos na faixa 6.

Pontos	X	Y
E1 (m)	6.543.882,508	6.775.225,699
E2 (m)	6.544.096,742	6.773.492,823
E3 (m)	6.542.369,465	6.773.223,538

A partir dos levantamentos em campo com a estação total, em visadas recíprocas utilizando o método das direções (posição direta PD e posição inversa PI) para minimizar os efeitos do não paralelismo das linhas verticais e em períodos alternados para a minimização dos efeitos atmosféricos, foram medidas as distâncias inclinadas e ângulos verticais, que foram reduzidos à distância horizontal. As distâncias horizontais à vante e à ré foram mediadas, sendo os valores apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Coordenadas horizontais obtidas.

Distância Horizontal E1-E2 (m)	1.746,048635
Distância Horizontal E2-E3 (m)	1.748,129178

As distâncias reduzidas do plano horizontal aos planos de projeção cartográfica são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Coordenadas planas obtidas.

Pontos	UTM	RTM	LTM	GK	GK _{ARG}
E1-E2 (m)	1.745,37631	1.746,06601	1.746,01906	1.746,28225	1.746,06851
E2-E3 (m)	1.747,45550	1.748,14602	1.748,10081	1.748,36789	1.748,14176

A diferença entre as distâncias obtidas com a estação total e reduzidas ao plano de projeção cartográfica com as distâncias determinadas a partir do rastreamento GNSS, ao nível do milímetro, são apresentadas na tabela 7. Para o plano topográfico local as diferenças foram de -0,001 m para a distância E1-E2 e -0,007 m para a distância E2-E3, demonstrando que para aplicação prática, as diferenças são desprezíveis.

Tabela 7 – Diferenças entre as distâncias planas obtidas por estação total e GNSS.

Pontos	UTM	RTM	LTM	GK	GK _{ARG}
E1-E2 (m)	-0,006	-0,006	0,000	-0,031	0,000
E2-E3 (m)	-0,013	-0,013	-0,007	-0,039	0,000

Na tabela 8 estão os valores do coeficiente de deformação linear K, o coeficiente de deformação linear para o plano elevado K_r e coeficiente de deformação linear no meridiano central do fuso de cada sistema.

Tabela 8 – Coeficientes de deformação linear.

Pontos		K	Kr	K ₀
UTM	E1-E2	0,99627183	0,99961494	0,9996
	E2-E3	0,99962626	0,99961462	0,9996
RTM	E1-E2	1,00002219	1,00000995	0,999995
	E2-E3	1,00002127	1,00000963	0,999995
LTM	E1-E2	0,99999530	0,99998306	0,999995
	E2-E3	0,99999541	0,99998377	0,999995
GK	E1-E2	1,00014604	1,00001495	1
	E2-E3	1,00014819	1,00001463	1
GK _{ARG.}	E1-E2	1,00002719	1,00001495	1
	E2-E3	1,00002627	1,00001463	1

A tabela 9 mostra a diferença entre as distâncias planas projetadas e a distância horizontal para as linhas medidas na área de estudo.

Tabela 9 – Diferenças entre as distâncias projetadas e as distâncias locais.

Pontos	PTL/UTM	PTL/RTM	PTL/LTM	PTL/GK	PTL/GK _{ARG}
E1-E2	0,672	-0,017	0,030	-0,234	-0,026
E2-E3	0,674	-0,017	0,028	-0,239	-0,026

A figura 5 mostra o gráfico das diferenças entre o PTL e os demais sistemas de projeção cartográfica entre os vértices E1 e E2.

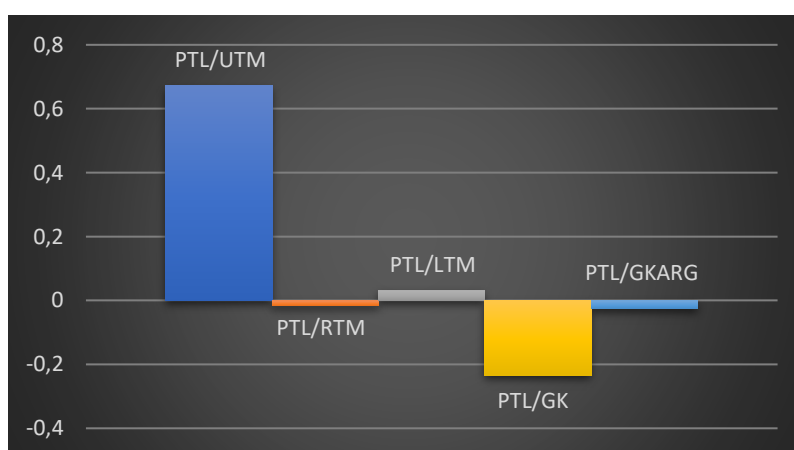


Figura 5 – Diferença entre as distâncias no PTL e nos sistemas de projeção entre E1 e E2.

A figura 6 mostra o gráfico das diferenças entre o PTL e os demais sistemas de projeção cartográfica entre os vértices E2 e E3.

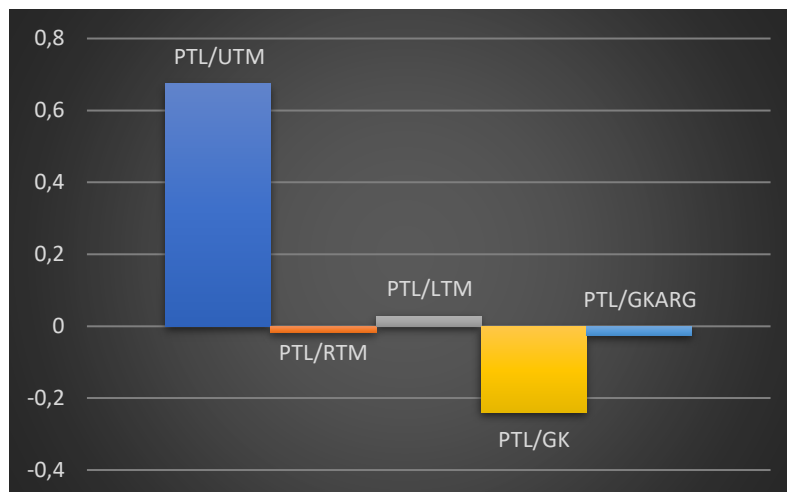


Figura 6 – Diferença entre as distâncias no PTL e nos sistemas de projeção entre E2 e E3.

Analisando os resultados obtidos, ficou evidente que entre os sistemas de projeção cartográfica testados o que melhor se adequa à região de fronteira entre Brasil e Argentina é o RTM, pois este apresenta a menor distorção com diferença ao PTL de apenas -0,017 m.

O sistema cartográfico argentino GK_{ARG} com -0,026 m também é bastante adequado para aplicação na região.

O sistema LTM também pode ser aplicado para projetos e obras na região fronteira, com discrepâncias em relação ao plano topográfico local muito próxima às dos outros dois sistemas.

O sistema Gauss-Krüger e UTM são inviáveis para qualquer tipo de trabalho que despreze os efeitos da curvatura terrestre, tanto mapeamento cartográfico quanto cadastro técnico multifinalitário, gestão territorial e obras internacionais.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, o sistema RTM é o mais adequado para obras locais dentre todas as projeções cartográficas estudadas, pelo fato de apresentar a menor distorção linear, entretanto, o sistema GK_{ARG} também se mostrou bastante adequado para obras internacionais na fronteira entre Brasil e Argentina, considerando sua proximidade com o plano topográfico local nesta região.

Pelo fato do sistema de projeção RTM ser um sistema pouco utilizado tanto no Brasil quanto na Argentina, já que não se encontra cartas, mapas ou plantas neste sistema, a escolha natural para a integração de projetos internacionais seria o GK_{ARG} devido o mesmo ser um sistema de projeção cartográfica consagrado e o mais adequado ao território argentino e fronteira sul do Brasil.

No entanto, a distorção linear não inviabiliza a utilização de qualquer sistema de projeção cartográfica para obras e projetos, porém exige conhecimentos avançados de geodésia e cartografia por parte do profissional, bastando aplicar os coeficientes de deformação linear às distâncias planas na implantação com métodos clássicos de locação por estação total. Como as projeções são conformes, a deformação angular pode ser desprezada.

O objetivo deste trabalho foi definir um sistema de projeção cartográfica que retorne as distâncias lineares mais próximas ao plano topográfico local para que, se houver problemas na inobservância da utilização dos coeficientes de deformação, a influência da curvatura terrestre não será tão nociva, mantendo desta forma a qualidade dos dados cartográficos para a gestão territorial em áreas fronteiriças entre Brasil e Argentina.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal: Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 23 p.

CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA A LA PRODUCCIÓN. **El sistema de posicionamiento Global (GPS)**. Disponível em <http://www.cicyttp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/SIG_2009_Tema8.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2018.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Noções básicas de cartografia**. Disponível em <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/representacao.html>. Acesso em: 02 jun. 2018.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. **Sistemas de proycción**. Disponível em <<http://ign.gob.ar/NuestrasActividades/ProduccionCartografica/sistemas-de-proyccion>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

SILVEIRA, Luiz Carlos da. **Cálculos geodésicos no sistema UTM aplicados a topografia**. Morro da Fumaça: Editora Luana, 1990. 163 p.

SILVEIRA, L. **Os sistemas UTM, RTM, LTM, Gauss-Krüger e Plano Topográfico Local**. Disciplina Cartografia II. 2017. Notas de Aula. Universidade Federal do Pampa.