

COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS NOS SISTEMAS DE PROJEÇÃO UTM, TM-POA, PTL E SISTEMA GEODÉSICO ELIPSOIDAL PARA FINS DE GESTÃO TERRITORIAL URBANA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - RS

*Comparison between areas in the projection systems UTM, TM-POA, PTL
and ellipsoidal geodetic system for urban territorial management purposes in
the municipality of Porto Alegre – RS*

Mariana da Silva Segabinazzi
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
segabinazzimari@gmail.com

Andressa Carvalho Sókora
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
andressapirila@hotmail.com

Gabrielle Lane da Silva
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
gaabe.lane@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

Resumo:

Qualquer mapeamento objetivando a gestão territorial urbana deve estar diretamente referenciado a sistemas geodésicos e cartográficos oficiais para que tenham a integração de mapas, cartas e plantas de todo um território. Para a confecção de bases cartográficas, geralmente utiliza-se o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator, porém, para o georreferenciamento de áreas urbanas, o sistema UTM pode não ser o mais adequado, pois possui distorções lineares inerentes a própria projeção. No caso do município de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul, o perímetro urbano situa-se sobre o meridiano central do fuso UTM de número 22, o que faz com que os valores das áreas nesta região não traduzam fielmente a realidade. Portanto, este artigo tem por finalidade aferir qual é a área máxima em que cada um dos sistemas de projeção cartográfica mais utilizados na região se aproxima do sistema geodésico elipsoidal. Foram feitas comparações de áreas de várias dimensões, desde 10.000.000.000 m² até o valor mínimo de 1 m². As comparações foram feitas entre os sistemas de projeção cartográfica UTM, TM-POA (projeção para a região de Porto Alegre) e PTL, com o sistema geodésico elipsoidal.

Nos cálculos das áreas efetuados foi confirmado que o TM-POA é a melhor alternativa desde 10.000.000.000 m² até 2.500.000.000 m². A partir deste valor o PTL passa a se aproximar mais das áreas sobre a superfície elipsoidal. A partir de 1.192,086 m² a TM-POA passa a ser a melhor opção novamente para a cidade de Porto Alegre.

Palavras-chave: Área; Cartografia; Deformação; Projeção; Geodésia.

Abstract

Any mapping aimed at the urban territorial management should be directly referenced to official geodetic and cartographic systems so that they have the integration of maps, charts and plants of an entire territory. For the construction of cartographic bases, the Universal Transverse of Mercator projection system is generally used, but for the georeferencing of urban areas, the UTM system may not be the most adequate, since it has linear distortions inherent to the projection itself. In the case of the city of Porto Alegre, in the Rio Grande do Sul State, the urban perimeter is located on the central meridian of the UTM zone number 22, which means that the values of the areas in this region are not real. Therefore, this article aims to assess the maximum area in which each of the most used cartographic projection systems in the region approaches the ellipsoidal geodetic system. Comparisons of areas of various dimensions were made, ranging from 10,000,000,000 m² to a minimum value of 1 m². The comparisons were made between the cartographic projection systems UTM, TM-POA (projection for the region of Porto Alegre) and PTL, with the ellipsoidal geodetic system. In the calculations of the areas made it was confirmed that the TM-POA is the best alternative from 10.000.000.000 m² to 2.500.000.000 m², from this value the PTL starts to approach more of the areas on the ellipsoidal surface. From 1,192,086 m² TM-POA is a the best option again for the city of Porto Alegre.

Keywords: Area; Cartography; Deformation; Projection; Geodesy.

1. INTRODUÇÃO

Todo mapeamento deve ser efetuado a partir de referenciais geodésicos e cartográficos oficiais para que haja a integração dos dados de todo o território.

No Brasil, é adotado o SIRGAS2000 como sistema de referência geodésico e todo e qualquer trabalho deve utilizá-lo. Já para as bases cartográficas, de modo geral, utiliza-se o sistema plano UTM (Universal Transverso de Mercator), sendo que o mapeamento topográfico sistemático brasileiro utiliza este sistema (IBGE, 2018).

No entanto, para o georreferenciamento de imóveis rurais e urbanos, o sistema UTM pode não ser adequado devido às distorções lineares inerentes à própria projeção cartográfica, principalmente para projeções conformes que tendem a preservar ângulos e distorcer valores lineares.

Para o cálculo de áreas, quanto mais próximo ao meridiano central ou bordas do fuso UTM maiores serão as distorções e maior será a diferença para uma área sobre a superfície curva da Terra, considerada a que melhor traduz uma área superficial, porém, de difícil aplicação prática.

No caso do município de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul, o perímetro Urbano fica sobre o meridiano central do fuso UTM de número 22 (51°W), que faz com que os valores de áreas não reflitam a realidade, desta forma é necessária a criação de uma solução local que dê suporte ao georreferenciamento de imóveis urbanos e colaborem com a gestão territorial municipal.

Das opções mais viáveis estão o Plano Topográfico Local (PTL) e um sistema de projeção cartográfico criado especificamente para Porto Alegre, o TM-POA (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2013).

O Plano Topográfico Local é o sistema de projeção cartográfica que melhor traduz os valores de áreas e distâncias lineares. O sistema pode ser aplicado em áreas urbanas e rurais, porém, ainda se utiliza muito o sistema de projeção cartográfica UTM sem levar em consideração as distorções inerentes ao mesmo, trazendo prejuízos à cartografia territorial.

Sabe-se que o sistema que melhor representa a superfície terrestre são as coordenadas geodésicas elipsoidais, ou seja, qualquer área por maior que ela seja sempre estará referida a curvatura da Terra. O uso de qualquer tipo de projeção cartográfica, mesmo o Plano Topográfico Local, sempre causará distorção e alteração no valor da área.

Com o intuito de verificar qual a área máxima em que cada sistema de projeção cartográfica se aproxima do sistema geodésico elipsoidal, e utilizando como área de estudo a região metropolitana de Porto Alegre, foi efetuada a comparação de diversas áreas partindo de um valor máximo de 10.000.000.000 m², equivalente a área máxima do PTL (ABNT, 1998) até o valor mínimo de 1 m². Estas áreas foram centradas no cruzamento do paralelo de -30°S com o meridiano -51°W, que é o meridiano central do fuso UTM que contém Porto Alegre.

As comparações efetuadas foram entre os sistemas UTM, TM-POA e PTL com o sistema geodésico elipsoidal, levando-se em conta que o ponto de origem para quantificação das áreas está sobre o meridiano central do fuso UTM número 22, onde a distorção linear é máxima.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Pode-se definir uma área como um polígono construído sobre uma superfície e que cartograficamente define um território, sejam eles pequenas unidades territoriais como lotes urbanos ou grandes extensões como o território municipal, por exemplo.

No caso da representação dos valores superficiais de uma área sobre a superfície terrestre, deve-se levar em conta a sua curvatura, ou seja, áreas reais com valores reais só podem ser determinadas tendo-se como referência a superfície elipsoidal por meio das coordenadas geodésicas elipsoidais (latitude e longitude).

Devido às dificuldades de se utilizar as coordenadas geodésicas elipsoidais para trabalhos práticos e implantação de obras, utilizam-se projeções cartográficas na qual elementos sobre à superfície curva são planificados.

A figura 1 mostra uma área referenciada à superfície curva da Terra (elipsoide de referência) e sua planificação, onde pode se verificar as distorções ocasionadas e que variará o valor real da área.

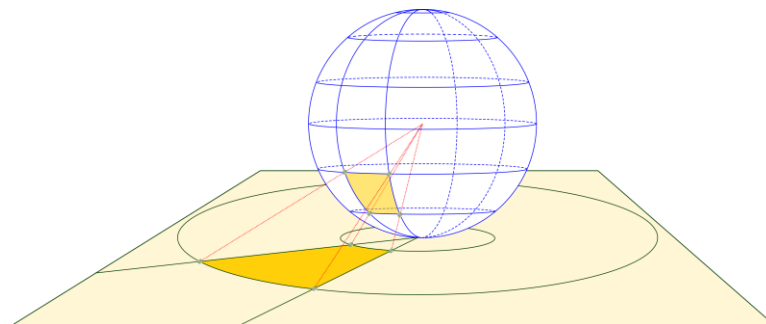


Figura 1 – Planificação por projeção plana ou azimutal tipo gnomônica.

Fonte: Silveira, 2017

Dependendo do alcance da superfície que se deseja mapear, há a necessidade de se utilizar o sistema de projeção cartográfica mais adequado para este intento.

A escolha sempre se baseia no tamanho da área e nível de distorção linear e angular toleráveis.

No Brasil, a superfície geodésica é pouco utilizada para o cômputo dos valores de superfícies, utilizando-se mais o sistema de coordenadas planas UTM e outras projeções. Também está se tornando mais comum o uso do Plano Topográfico Local para o cálculo de áreas por apresentar distorção quase nula para pequenas áreas.

Para o município de Porto Alegre instituiu-se um sistema de projeção cartográfica local, baseado no sistema cilíndrico transversal de Mercator, que minimiza o problema das distorções nesta região, quase coincidente com o PTL, que é o sistema TM-POA.

2.1. Sistema de coordenadas geodésicas elipsoidais

O sistema de coordenadas geodésicas elipsoidais usa o elipsoide como superfície de referência, sendo que a Terra tem um leve achatamento nos polos e, portanto, sua figura geométrica representativa não pode ser uma esfera para medidas de precisão.

Segundo Silveira (2017), o sistema de coordenadas fundamental da geodesia é o sistema cartesiano geocêntrico, que posteriormente são transformados em coordenadas elipsoidais angulares sobre a superfície (latitude e longitude).

A geodesia clássica define latitude geodésica como o ângulo medido sobre o plano meridiano entre o plano do equador e a superfície normal em um ponto P (TORGE, 2001), conforme mostra a figura 2.

Ainda, segundo Torge (2001), a longitude geodésica é definida como o ângulo medido sobre o plano equatorial entre o meridiano 0 (Greenwich) e o plano meridiano do ponto P, também mostrado na figura 2.

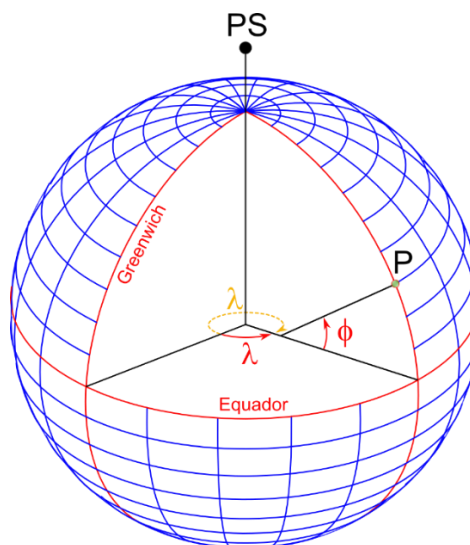


Figura 2 – Representação das coordenadas geodésicas elipsoidais latitude e longitude.

Fonte: Silveira, 2017

A latitude é contada de 0° a $+90^\circ$ para o norte do equador e de 0° a -90° para o sul do equador enquanto a longitude é contada de 0° a $+180^\circ$ à leste do meridiano de Greenwich, de 0° a -180° à oeste de Greenwich e de 0° a 360° à leste de Greenwich.

2.2. Sistema Plano Topográfico Local

Segundo Silveira (2017), o plano topográfico local é um sistema de projeção, tangente à superfície de referência (elipsoide) e cuja origem é local, ou seja, qualquer ponto na superfície física da Terra pode ser a origem do plano.

A superfície tem dimensões limitadas (distâncias a partir do ponto de origem) de forma a limitar os erros inerentes à desconsideração da curvatura terrestre. Outra característica importante é que o plano deve ser elevado à altitude média do terreno, segundo à normal à superfície de referência (ABNT, 1998).

Segundo a NBR14.166 (ABNT, 1998), o plano topográfico local não deve exceder à 50 km a partir da origem do sistema, materializando um plano de 100 km x 100 km.

A figura 3 mostra a representação do Plano Topográfico Local sobre a superfície de referência.

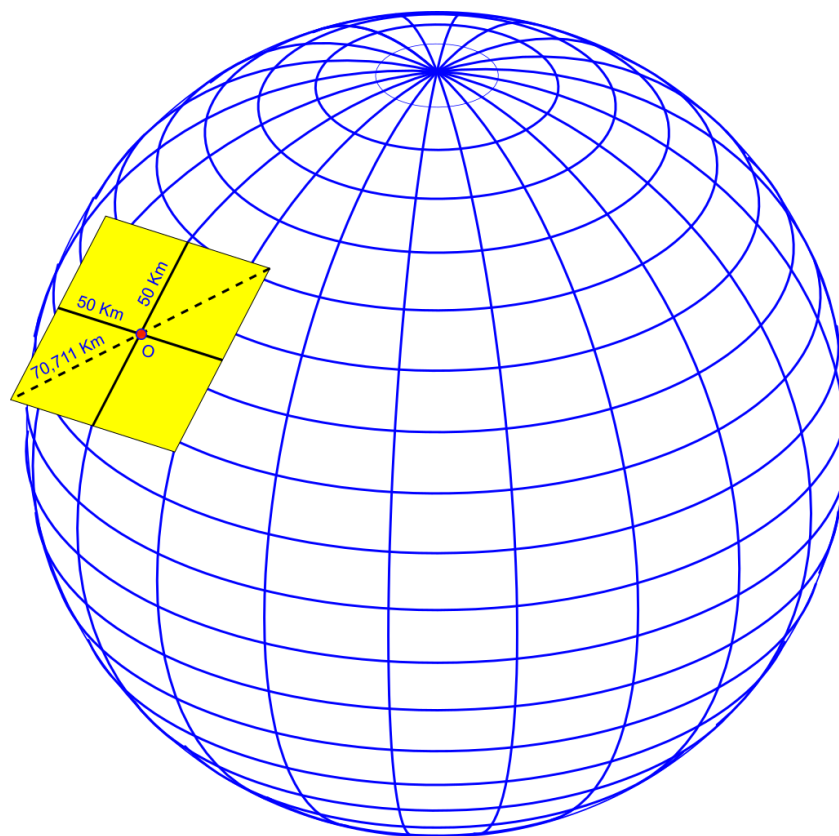


Figura 3 – Representação do Plano Topográfico Local.

Fonte: Silveira, 2017

2.3. Sistema de coordenadas planas UTM

O sistema universal transversal de Mercator deriva da projeção cilíndrica transversal de Mercator (TM), também conhecida como projeção conforme de Gauss.

Segundo Silveira (2017), este sistema é conforme e secante, ou seja, tende a manter os ângulos e o meridiano central do fuso fica acima da superfície do cilindro de projeção. Como o sistema é secante, existem dois meridianos (um à leste e outro à oeste do meridiano central) que tocam a superfície do cilindro, denominados de meridianos secantes ou linhas de secância.

Diferente de uma projeção tangente, onde a deformação linear é nula no meridiano central e máxima nas bordas do fuso, projeções secantes distribuem esta deformação, sendo maiores no meridiano central e nas bordas do fuso e nulas nos meridianos de secância.

Mesmo que as distorções ainda existam nas bordas do fuso, estas são minimizadas se comparadas às distorções apresentadas em uma projeção tangente com a mesma amplitude do fuso.

Segundo Silveira (1990), as características do sistema UTM são: projeção transversal de Mercator ou conforme de Gauss, dividido em 60 fusos com 6° de amplitude, contados a partir do antemeridiano de Greenwich, para leste, nas longitudes múltiplas de 6° e coincidindo com os fusos da carta internacional ao milionésimo na escala 1:1.000.000. O sistema limitado até as latitudes de 84°N e 80° S com o coeficiente de redução de escala (K_0), no meridiano central vale 0,9996.

A figura 4 mostra a representação das características do sistema UTM.

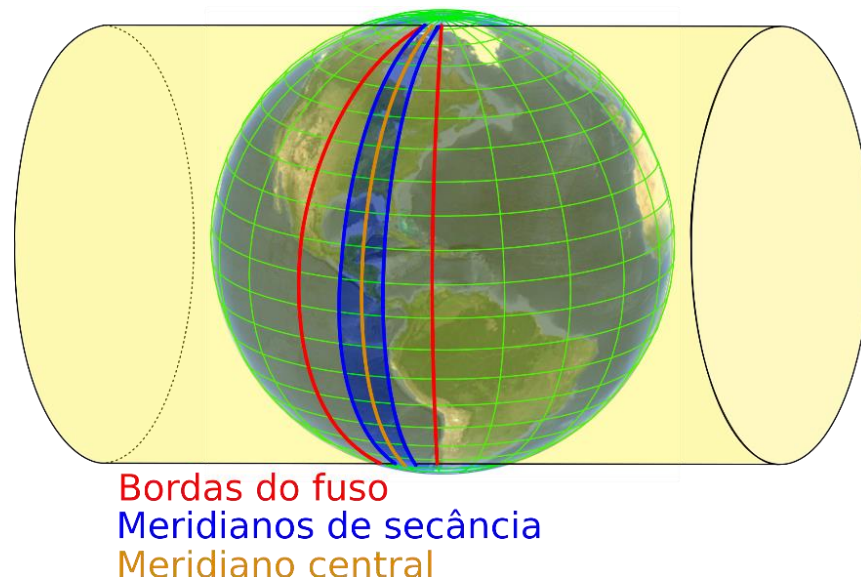


Figura 4 – Representação das coordenadas planas UTM.

Fonte: Silveira (2017)

2.4. Sistema de coordenadas TM-POA

Segundo a Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2013), não existe no Brasil normalização oficial para projeções cartográficas em escalas maiores que 1:25.000, sendo

assim, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre escolheu adotar uma projeção que melhor se adequasse à realidade do município, uma Transversa de Mercator, chamada de Transversa de Mercator para Porto Alegre (TM-POA).

Em face disso foi instituído o Sistema Cartográfico de Referência de Porto Alegre (SCR-POA), definido pelos seguintes parâmetros segundo o decreto nº 18.315 de 11 de junho de 2013:

- Sistema Geodésico de Referência (SGR): SIRGAS2000;
- Datum altimétrico: Marégrafo de Imbituba/SC;
- Projeção Cartográfica: Transversa de Mercator para Porto Alegre (TM-POA);
- Meridiano Central (MC) igual a 51° W;
- Fator de escala sobre o MC igual a $K_0 = 0,999995$;
- Latitude de origem de 0° (Linha do Equador);
- Falso Leste de 300.000 m;
- Falso Norte de 5.000.000 m.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada na região onde situa-se o município de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul entre as latitudes de 29° 32' S e 30° 27' S e as longitudes 50° 28' W e 51° 31' W, englobando os territórios municipais (no valor de área máximo) de Alvorada, Araricá, Barra do Ribeiro, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Capela de Santana, Capivari do Sul, Charqueadas, Dois Irmãos, Eldorado do Sul, Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gravataí, Guaíba, Igrejinha, Ivoti, Lindolfo Collor, Mariana Pimentel, Montenegro, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Palmares do Sul, Parobé, Pareci Novo, Portão, Porto Alegre, Rolante, Santo Antônio da Patrulha, São José do Hortêncio, São Leopoldo, São Sebastião do Caí, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Taquara, Trunfo e Viamão.

O cruzamento entre o paralelo 30°S e o meridiano central para o fuso UTM de 51°W fica no município de Alvorada.

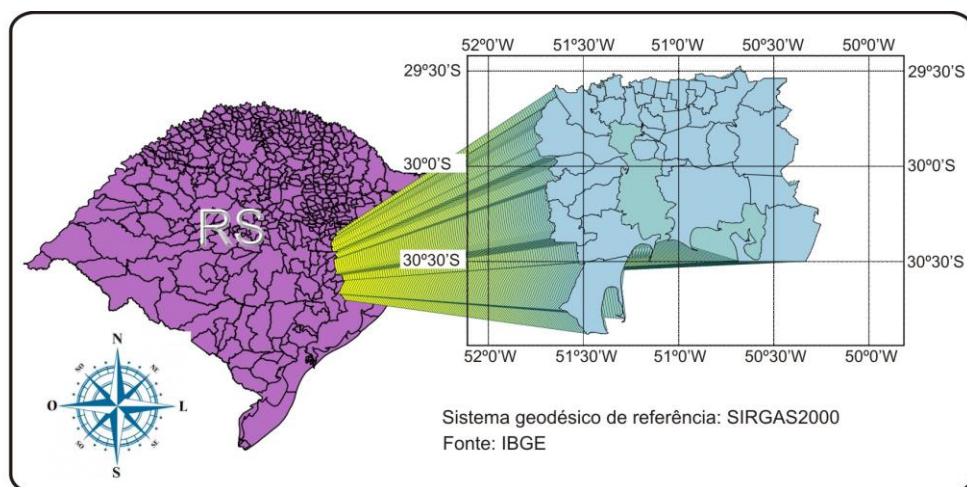


Figura 5 – Localização da área de estudo

Para a comparação entre áreas no PTL, UTM e TM-POA com a mesma área sobre a superfície elipsoidal foi criada uma área de 10.000.000.000 m², equivalente a área máxima do plano topográfico local na região de Porto Alegre, com o centro do sistema no cruzamento do paralelo 30°S com o meridiano central do fuso UTM. Posteriormente foram criadas áreas menores, sempre a metade do valor da área anterior até se chegar ao valor mínimo de 1 m².

A figura 6 mostra a área máxima utilizada e sobreposição das demais áreas na comparação de valores superficiais.

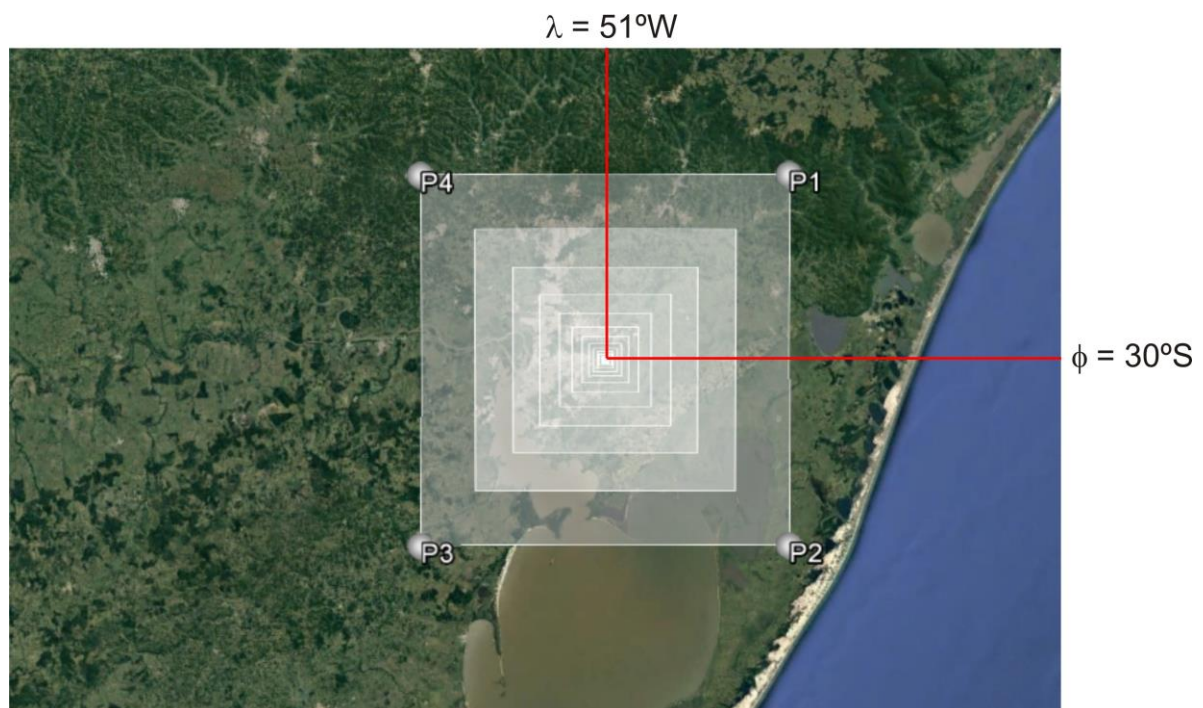


Figura 6 – Representação das diversas áreas calculadas e sua origem.

Fonte: Google Earth/dos autores

Os vértices no sistema plano topográfico local foram então transformados para os sistemas TM-POA, UTM e geodésico elipsoidal por meio do aplicativo para Excel Geoplani Tranfgeo, com as quais foram calculados os valores de área também para estes sistemas.

A transformação de coordenadas entre o sistema geodésico elipsoidal e o sistema UTM são bem conhecidas por haver literatura sobre o assunto, assim como a transformação entre o sistema geodésico elipsoidal e UTM para TM-POA e vice-versa que podem ser consultadas no manual de informações e orientações do sistema cartográfico de Porto Alegre (PMPA, 2013).

A conversão das coordenadas do sistema geodésico elipsoidal para o plano topográfico local também é conhecida, pois estão descritas na NBR14.166 (ABNT, 1998), porém, a transformação de coordenadas no plano topográfico local para geodésicas elipsoidais não são disponibilizadas.

O plano topográfico local é sempre elevado à altitude média do terreno, no caso de Porto Alegre, foi utilizada a altitude de 35 m (altitude ortométrica média). As transformações do PTL para o sistema geodésico devem levar em consideração o fator de escala altimétrico,

determinado a partir do coeficiente c (equação 9), pois quanto maior a altitude, maior será a deformação linear. O coeficiente c em conjunto com o fator de escala K , resulta no fator de escala altimétrico K_r , que é o fator de distorção linear em função da altitude média do terreno (SILVEIRA, 2017).

O plano topográfico local, apesar de melhor representar as verdadeiras grandezas lineares em um espaço plano (o sistema geodésico elipsoidal representa o espaço curvo), o mesmo não permite a integração entre mapeamentos, pois cada plano tem uma origem distinta tangente à superfície curva da Terra, fazendo com que planos topográficos adjacentes não sejam coplanares em uma área suficientemente pequena, inviabilizando mapeamentos em regiões maiores que 10.000 km² e impossibilitando a articulação dos planos.

Portanto, a formulação para a transformação de coordenadas no PTL para o sistema geodésico segue a marcha de cálculo a seguir, da equação 1 até a equação 21.

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (1)$$

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi_0}} \quad (2)$$

$$M_0 = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi_0)^{1,5}} \quad (3)$$

$$Rm_0 = \sqrt{N_0 \cdot M_0} \quad (4)$$

$$B = \frac{1}{M_0 \cdot \sin 1''} \quad (5)$$

$$C = \frac{\tan \phi_0}{2 \cdot M_0 \cdot N_0 \cdot \sin 1''} \quad (6)$$

$$D = \frac{3 \cdot e^2 \cdot \cos \phi_0 \cdot \sin \phi_0 \cdot \sin 1''}{2 \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi_0)} \quad (7)$$

$$E = \frac{1 + 3 \cdot \tan \phi_0}{6 \cdot N_0^2} \quad (8)$$

$$c = \frac{Rm_0 + Ht}{Rm_0} \quad (9)$$

$$\Delta X = X_{\text{ponto}} - 150.000,000 \text{ m} \quad (10)$$

$$\Delta Y = Y_{\text{ponto}} - 250.000,000 \text{ m} \quad (11)$$

$$H = \frac{1}{B} \cdot C \quad (12)$$

$$I = \Delta Y \cdot (H \cdot C \cdot \Delta X^2) - (H \cdot E \cdot C \cdot \Delta X^4) \quad (13)$$

$$J = H + (D \cdot I) + (H \cdot \Delta X^2 \cdot E) \quad (14)$$

$$\Delta \phi_1'' = \frac{I}{J} \quad (15)$$

$$\Delta \phi'' = \frac{\Delta \phi_1''}{(1 - 3,9173 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta \phi_1''^2)} \quad (16)$$

$$\phi = \phi_0 + \frac{\Delta \phi''}{3600} \quad (17)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi}} \quad (18)$$

$$\Delta \lambda_1'' = \frac{\Delta X}{\cos \phi \cdot N \cdot \sin 1'' \cdot C} \quad (19)$$

$$\Delta \lambda'' = \frac{\Delta \lambda_1''}{(1 - 3,9173 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta \lambda_1''^2)} \quad (20)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{\Delta \lambda''}{3600} \quad (21)$$

Onde: a = semieixo maior do elipsoide;
e = primeira excentricidade do elipsoide;
 ϕ_0 e λ_0 = coordenadas geodésicas elipsoidais do vértice de origem do PTL;
 N_0 = grande normal no vértice de origem do PTL;
 M_0 = raio de curvatura da seção meridiana no vértice de origem do PTL;
 R_{m0} = raio médio de curvatura no vértice de origem do PTL;
c = coeficiente de altitude;
B, C, D, E, H, I, J = outros coeficientes;
 ΔX = projeção das abscissas;
 ΔY = projeção das ordenadas;
N = grande normal no ponto;

ϕ = latitude geodésica;
 λ = longitude geodésica.

O cálculo de área para todos os sistemas de coordenadas plano retangulares (PTL, UTM e TM-POA) foi realizado utilizando o método de Gauss seguindo as equações 22, 23 e 24 para quatro vértices.

$$A = [(X_1 \cdot Y_2) + (X_2 \cdot Y_3) + (X_3 \cdot Y_4) + (X_4 \cdot Y_1)] \quad (22)$$

$$B = [(Y_1 \cdot X_2) + (Y_2 \cdot X_3) + (Y_3 \cdot X_4) + (Y_4 \cdot X_1)] \quad (23)$$

$$\text{Área} = \frac{|A-B|}{2} \quad (24)$$

Segundo Silveira (1990), a determinação da área de um quadrilátero elipsóidico, utilizando-se as coordenadas geodésicas elipsoidais (latitude e longitude), é ilustrada pela equação 25.

$$\text{Área} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot \Delta\lambda}{90} \cdot (A' \cdot \text{sen}\Delta\phi \cdot \text{cos}\phi_m - B' \cdot \text{sen}3\Delta\phi \cdot \text{cos}3\phi_m + C' \cdot \text{sen}5\Delta\phi \cdot \text{cos}5\phi_m - D' \cdot \text{sen}7\Delta\phi \cdot \text{cos}7\phi_m) \quad (25)$$

Onde: b = semieixo menor do elipsoide;
 e = primeira excentricidade do elipsoide;
 ϕ_m = latitude média;
 $\Delta\lambda$ = Diferença de longitudes;
 $\Delta\phi$ = Variação da latitude;
 A' , B' , C' e D' = Coeficientes.

Sendo que a latitude média, variação de latitude, diferença de longitude e coeficientes são dados pelas equações:

$$\phi_m = \frac{\phi_2 + \phi_1}{2} \quad (26)$$

$$\Delta\phi = \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \quad (27)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad (28)$$

$$A' = 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot e^2 + \frac{3}{8} \cdot e^4 + \frac{5}{16} \cdot e^6 + \frac{35}{128} \cdot e^8 + \dots \quad (29)$$

$$B' = \frac{1}{6} \cdot e^2 + \frac{3}{16} \cdot e^4 + \frac{3}{16} \cdot e^6 + \frac{35}{192} \cdot e^8 + \dots \quad (30)$$

$$C' = \frac{3}{80} \cdot e^4 + \frac{1}{16} \cdot e^6 + \frac{5}{64} \cdot e^8 + \dots \quad (31)$$

$$D' = \frac{1}{112} \cdot e^6 + \frac{5}{256} \cdot e^8 + \dots \quad (33)$$

4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Foi observado que, independentemente do sistema utilizado, sempre haverá alguma distorção linear, porém, existem sistemas de projeção cartográfica, como o PTL e o TM-POA, que apresentam menor distorção para a área de estudo por aproximarem-se mais da verdadeira grandeza de valor para a área urbana.

Nas tabelas a seguir, é possível observar a diferença entre as áreas na superfície elipsoidal e nos sistemas de projeção PTL, UTM e TM-POA.

A tabela 1 mostra as diferenças encontradas entre as áreas geodésicas e as áreas no plano topográfico local.

Tabela 1 – Diferença entre as áreas na superfície elipsoidal e no PTL

Áreas	Geodésica (m ²)	PTL (m ²)	Geodésica-PTL (m ²)
A1	10.002.734.035,744	10.000.000.000,000	2.734.035,744
A2	5.000.142.149,305	5.000.000.000,006	142.149,299
A3	2.500.025.721,527	2.500.000.000,000	25.721,527
A4	1.250.001.528,118	1.250.000.000,005	1.528,113
A5	624.997.921,470	625.000.000,000	-2.078,530
A6	312.498.255,650	312.500.000,001	-1.744,351
A7	156.248.951,586	156.250.000,000	-1.048,414
A8	78.124.431,947	78.125.000,000	-568,053
A9	39.062.204,156	39.062.500,000	-295,844
A10	19.531.099,443	19.531.250,000	-150,557
A11	9.765.548,948	9.765.625,000	-76,052
A12	4.882.774,905	4.882.812,500	-37,595
A13	2.441.386,787	2.441.406,250	-19,463
A14	1.220.694,045	1.220.703,125	-9,080
A15	610.346,712	610.351,563	-4,851
A16	305.173,437	305.175,784	-2,347
A17	152.586,618	152.587,891	-1,273
A18	76.293,322	76.293,945	-0,623
A19	38.146,598	38.146,973	-0,375
A20	19.073,309	19.073,486	-0,177

Áreas	Geodésica (m ²)	PTL (m ²)	Geodésica-PTL (m ²)
A21	9.536,663	9.536,733	-0,070
A22	4.768,327	4.768,372	-0,045
A23	2.384,173	2.384,193	-0,020
A24	1.192,073	1.192,086	-0,013
A25	596,036	596,043	-0,007
A26	298,018	298,025	-0,007
A27	149,009	149,011	-0,002
A28	74,502	74,505	-0,003
A29	37,252	37,254	-0,002
A30	18,625	18,626	-0,001
A31	9,314	9,313	0,001
A32	4,657	4,657	0,000
A33	2,328	2,328	0,000
A34	1,164	1,164	0,000
A35	1,000	1,000	0,000

A tabela 2 mostra as diferenças encontradas entre as áreas geodésicas e as áreas no plano UTM.

Tabela 2 – Diferença entre as áreas na superfície elipsoidal e UTM

Áreas	Geodésica (m ²)	UTM (m ²)	Geodésica-UTM (m ²)
A1	10.002.734.035,744	9.992.717.312,371	10.016.723,373
A2	5.000.142.149,305	4.996.160.104,827	3.982.044,478
A3	2.500.025.721,527	2.498.030.417,523	1.995.304,004
A4	1.250.001.528,118	1.249.002.800,377	998.727,741
A5	624.997.921,470	624.498.298,162	499.623,308
A6	312.498.255,650	312.248.373,578	249.882,072
A7	156.248.951,586	156.123.992,912	124.958,674
A8	78.124.431,947	78.061.947,988	62.483,959
A9	39.062.204,156	39.030.961,876	31.242,280
A10	19.531.099,443	19.515.477,909	15.621,534
A11	9.765.548,948	9.757.738,197	7.810,751
A12	4.882.774,905	4.878.868,908	3.905,997
A13	2.441.386,787	2.439.434,406	1.952,381
A14	1.220.694,045	1.219.717,191	976,854
A15	610.346,712	609.858,593	488,119
A16	305.173,437	304.929,298	244,139
A17	152.586,618	152.464,647	121,971

Áreas	Geodésica (m ²)	UTM (m ²)	Geodésica-UTM (m ²)
A18	76.293,322	76.232,323	60,999
A19	38.146,598	38.116,162	30,436
A20	19.073,309	19.058,081	15,228
A21	9.536,663	9.529,030	7,633
A22	4.768,327	4.764,521	3,806
A23	2.384,173	2.382,268	1,905
A24	1.192,073	1.191,124	0,949
A25	596,036	595,563	0,473
A26	298,018	297,783	0,235
A27	149,009	148,891	0,118
A28	74,502	74,444	0,058
A29	37,252	37,225	0,027
A30	18,625	18,611	0,014
A31	9,314	9,307	0,007
A32	4,657	4,653	0,004
A33	2,328	2,326	0,002
A34	1,164	1,163	0,001
A35	1,000	1,000	0,000

A tabela 3 mostra as diferenças encontradas entre as áreas geodésicas e as áreas no plano TM-POA.

Tabela 3 – Diferença entre as áreas na superfície elipsoidal e TM-POA

Áreas	Geodésica (m ²)	TM-POA (m ²)	Geodésica-TM-POA (m ²)
A1	10.002.734.035,744	10.000.616.278,371	2.117.757,373
A2	5.000.142.149,305	5.000.109.430,877	32.718,428
A3	2.500.025.721,527	2.500.005.041,314	20.680,213
A4	1.250.001.528,118	1.249.990.102,502	11.425,616
A5	624.997.921,470	624.991.946,754	5.974,716
A6	312.498.255,650	312.495.197,261	3.058,389
A7	156.248.951,586	156.247.404,601	1.546,985
A8	78.124.431,947	78.123.653,794	778,153
A9	39.062.204,156	39.061.814,770	389,386
A10	19.531.099,443	19.530.904,353	195,090
A11	9.765.548,948	9.765.451,419	97,529
A12	4.882.774,905	4.882.725,520	49,385
A13	2.441.386,787	2.441.362,712	24,075
A14	1.220.694,045	1.220.681,344	12,701

Áreas	Geodésica (m ²)	TM-POA (m ²)	Geodésica-TM-POA (m ²)
A15	610.346,712	610.340,669	6,043
A16	305.173,437	305.170,337	3,100
A17	152.586,618	152.585,167	1,451
A18	76.293,322	76.292,583	0,739
A19	38.146,598	38.146,292	0,306
A20	19.073,309	19.073,146	0,163
A21	9.536,663	9.536,563	0,100
A22	4.768,327	4.768,287	0,040
A23	2.384,173	2.384,151	0,022
A24	1.192,073	1.192,065	0,008
A25	596,036	596,033	0,003
A26	298,018	298,020	-0,002
A27	149,009	149,008	0,001
A28	74,502	74,503	-0,001
A29	37,252	37,253	-0,001
A30	18,625	18,626	-0,001
A31	9,314	9,313	0,001
A32	4,657	4,657	0,000
A33	2,328	2,328	0,000
A34	1,164	1,164	0,000
A35	1,000	1,000	0,000

Pela análise das tabelas nota-se que há diferenças significativas entre uma área sobre a superfície geodésica e uma área sobre as superfícies de projeção cartográfica, no entanto, a que traz maiores discrepâncias é o sistema UTM, onde há uma diferença de quase 1 m² para uma área real de 1.192,073 m².

Para a mesma área de 1.192,073 m² a diferença no PTL é de 0,013 m² e no TM-POA é de 0,008 m².

Isso demonstra a excelência do TM-POA em aplicações urbanas, muito próxima do PTL enquanto demonstra a inviabilidade de uso preciso de coordenadas planas UTM.

Ao nível de diferença de aproximadamente 0,01 m², o PTL e o TM-POA alcançam áreas iguais de 1.192,073 m² enquanto o sistema UTM só vai ter esta diferença a partir de áreas de 18,625 m².

Se compararmos as diferenças para uma área de aproximadamente 2 ha por exemplo, a diferença é ainda mais óbvia, sendo o TM-POA a melhor opção com 0,100 m², seguido pelo PTL com -0,177 m². O sistema UTM tem diferença para a área geodésica de aproximadamente 15 m².

A figura 7 mostra o gráfico com as diferenças na área máxima, percebendo-se que ocorre discrepâncias entre todos os sistemas de projeção, no entanto, o TM-POA é a melhor opção, ou seja, é o que mais se aproxima dos valores de área sobre a superfície elipsoidal.

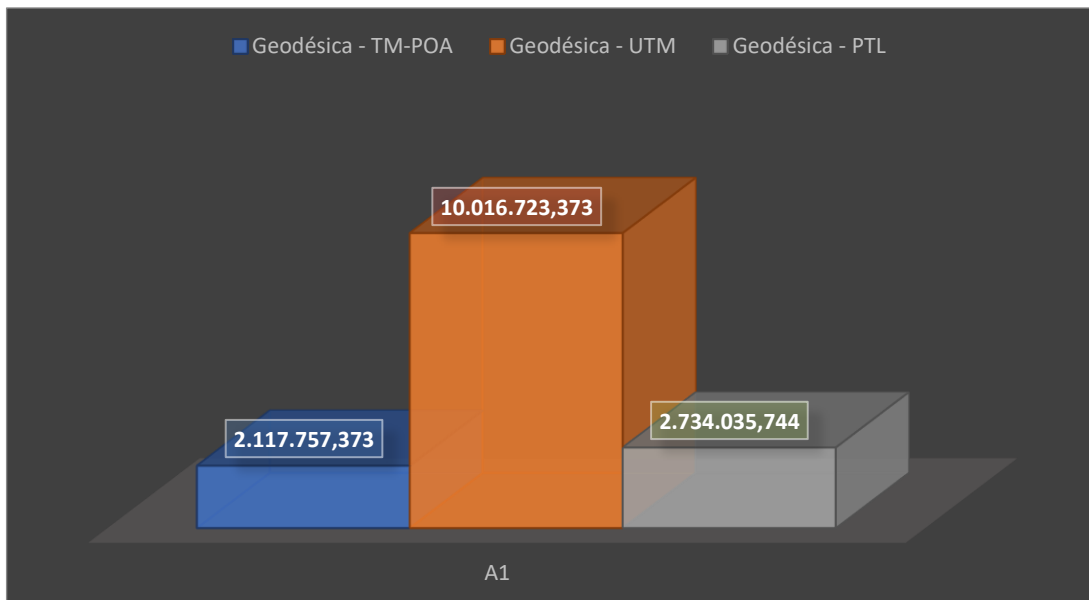


Figura 7 – Área 1 de 10.000.000.000 m².

Para a segunda a área de 5.000.000.000 m², o TM-POA ainda é o melhor que o Plano Topográfico Local, porém o sistema UTM mantém uma grande discrepância para com o sistema geodésico elipsoidal como visto no gráfico da figura 8.

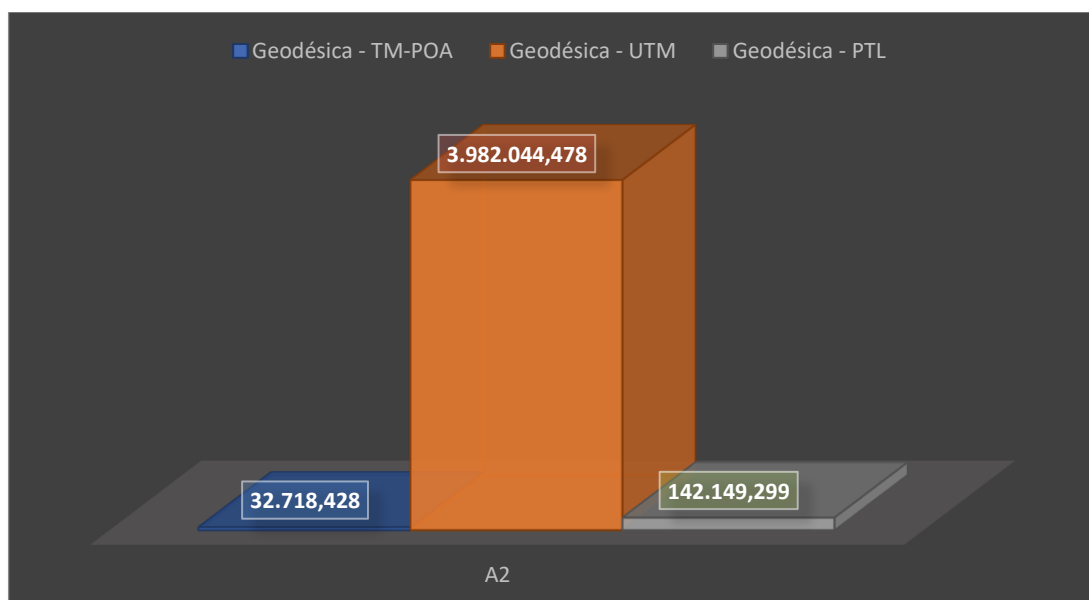


Figura 8 – Área 2 de 5.000.000.000 m².

Para a área de 2.500.000.000 m², mantém-se a tendência do TM-POA ser o melhor sistema de projeção cartográfica, no entanto, para este valor, o PTL já se aproxima conforme mostra a figura 9.

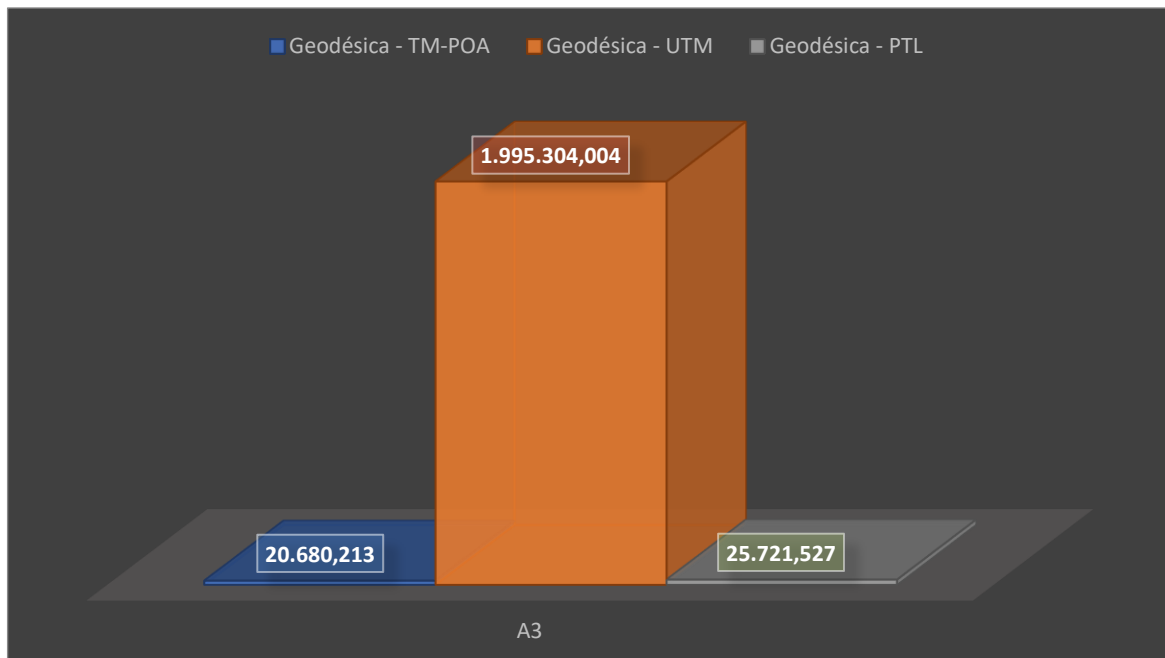


Figura 9 – Área 3 de 2.500.000.000 m².

A partir da área de 1.250.000.000 m², o PTL passa a ser melhor que o TM-POA como mostra o gráfico na figura 10.

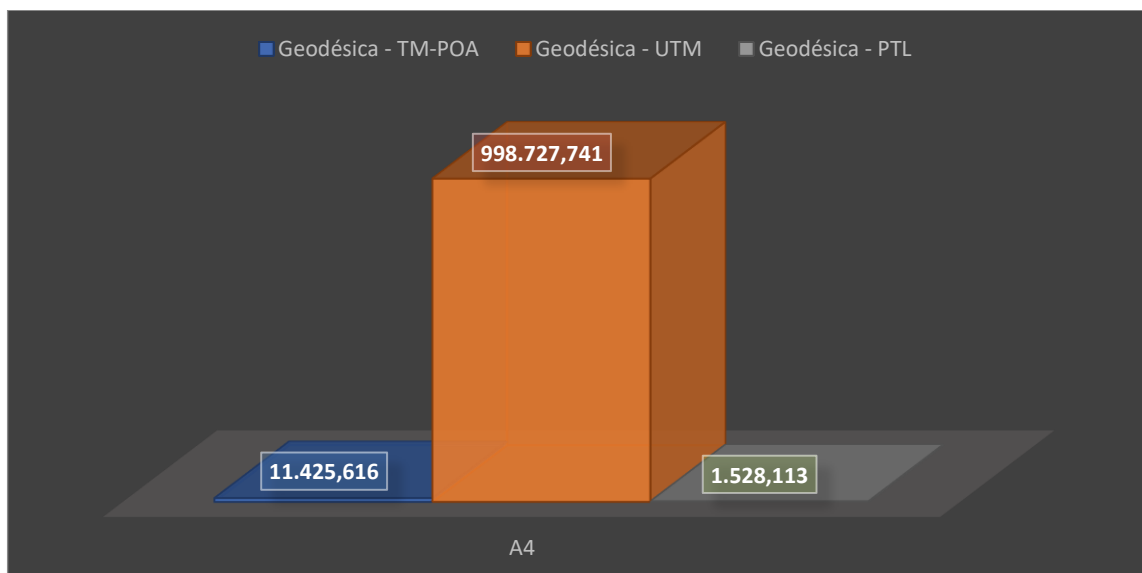


Figura 10 – Área 4 de 1.250.000.000 m².

A partir de 625.000.000 m², percebe-se a tendência do PTL de ter valores de diferenças negativos, pois, a área do sistema geodésico é menor que no plano topográfico local. No entanto PTL é mais próximo do sistema geodésico que a TM-POA como mostra o gráfico da figura 11.

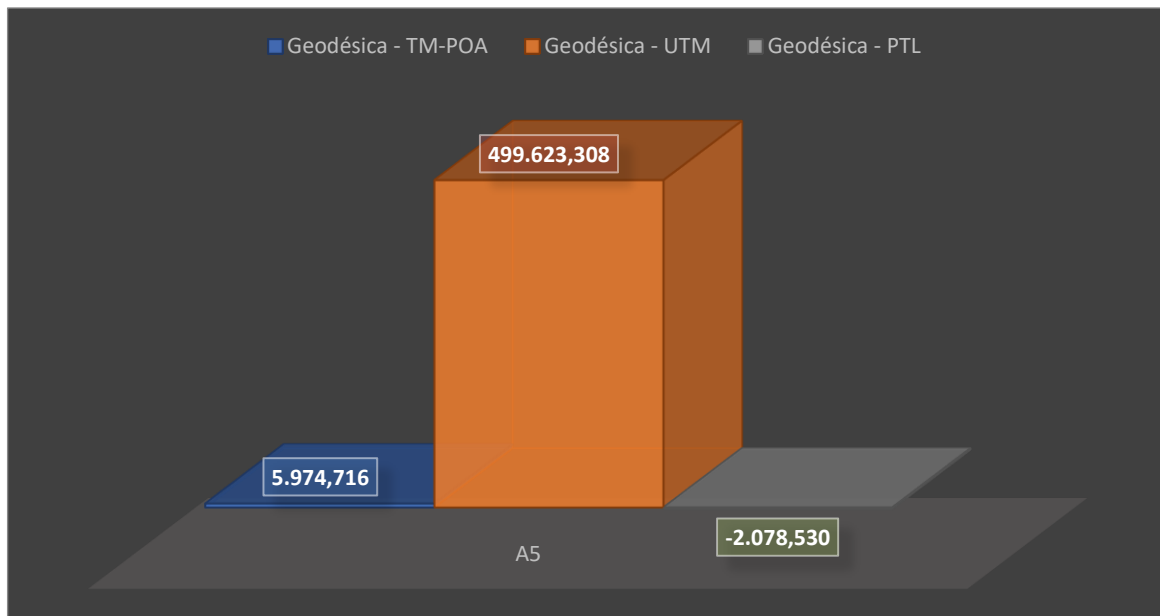


Figura 11 – Área 5 de 625.000.000 m².

Fonte: dos autores

O gráfico da figura 12 mostra que os sistemas TM-POA e PTL tem comportamentos similares nesta escala e que o sistema UTM continua com valores bastantes discrepantes. Os valores só se tornarão similares aos três sistemas na área 31 de 9,314m².

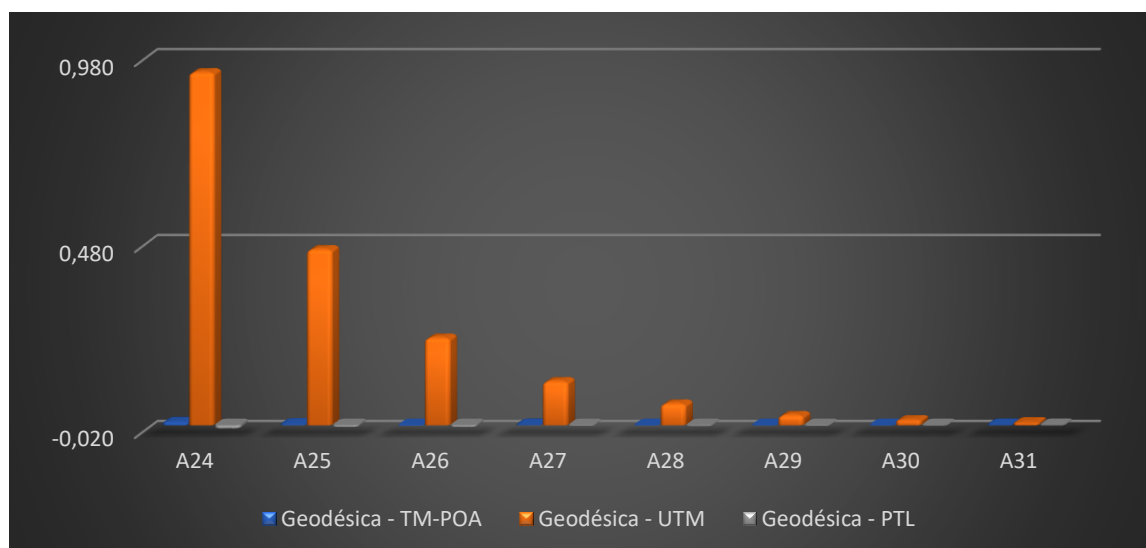


Figura 12 – Comportamento dos três sistemas analisados.

Fonte: dos autores

Conforme a figura 13, a partir da área 24 de 1.192,073m², o sistema TM-POA volta a ser melhor opção que o PTL.

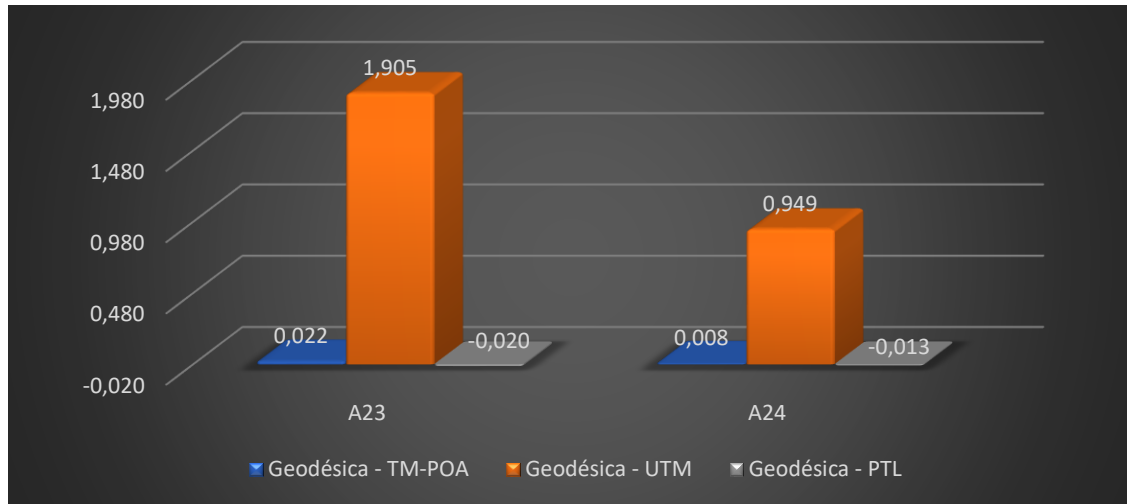


Figura 13 – Inversão de tendência entre o TM-POA e o PTL.

Fonte: dos autores

5. CONCLUSÃO

O sistema de coordenadas que melhor representa o valor de uma área sobre a superfície da Terra é o sistema geodésico elipsoidal, pois não só considera a curvatura Terrestre como projeta o polígono nesta superfície, ou seja, a unidade imobiliária rural ou urbana não é verdadeiramente um polígono plano, mas se aproxima de um polígono esférico.

No entanto, é extremamente complexo utilizar o sistema e impossível representá-lo se não for por meio de um modelo reduzido (globo), sendo necessária a planificação por meio de um sistema de projeção cartográfica.

Em Porto Alegre, além do sistema UTM utiliza-se o sistema TM-POA, desenvolvido para minimizar as distorções na região. Também é com a utilização do plano topográfico local, que teoricamente traduziria mais fielmente o valor numérico de uma superfície.

Verificou-se que o sistema UTM é inviável para aplicações de qualquer natureza, seja cartográfica, implantação de obras ou cadastro com diferenças para a área geodésica de grande amplitude. A afirmativa é corroborada quando se verifica que para uma área de 596,036 m², aproximadamente um lote urbano padrão, tem-se uma diferença de 0,473 m². Se elevarmos para uma área rural de 2 Ha teremos uma diferença de aproximadamente 15 m², ou 15,228 m² em uma área de 19.073,309 m².

Os sistemas PTL e TM-POA são muito similares e ambos podem ser utilizados para fins cadastrais e de gestão territorial na região. Nas mesmas dimensões aproximadas de um lote urbano padrão de 596,036 m² a diferença no PTL foi de -0,007 m² enquanto no TM-POA foi de 0,003 m², ou seja, mesmo o TM-POA sendo melhor as diferenças são desprezíveis. Mesmo para uma área de 19.073,309 m² a diferença foi de -0,177 m² para o PTL e de 0,163 m² para o TM-POA.

Portanto, o melhor sistema de projeção cartográfica a ser utilizado na região de Porto Alegre seria o PTL ou TM-POA, que são bastante similares. Também se verificou que a implementação do sistema cartográfico do município de Porto Alegre foi uma decisão acertada,

o que traz qualidade e precisão nos trabalhos de gestão territorial urbana, principalmente no que concerne ao cadastro técnico multifinalitário.

Referências Bibliográficas

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

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

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.

MENEZES, Paulo Marcio Leal de; FERNANDES, Manoel do Couto. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Sistema cartográfico do município de Porto Alegre**: Manual de informações e orientações. Porto Alegre, 2013.

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.

TORGE, W. **Geodesy**. 3 ed. New York: Walter de Gruyter, 2001.