

APLICAÇÃO DE MODELOS DE TRANSFORMAÇÕES BURSA-WOLF E MOLODENSKY SIMPLIFICADA NA TRANSFORMAÇÃO DOS SISTEMAS SAD69 (1996) E SIRGAS2000

VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES¹
NORBERT RÖSCH²

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil¹
Universität Karlsruhe (TH) - Geodetic Institute²

{¹vivian@ecv.ufsc.br, ²roesch@gik.uka.de}

RESUMO – Este artigo tem como objetivo a análise e a apresentação dos resultados de uma avaliação das conseqüências nas feições cartográficas representadas após a utilização dos modelos de transformação Bursa-Wolf (BW) e Molodensky Simplificado (MS) na transformação de uma carta em escala grande em meio digital do Sistema de Referência Geodésico SAD69 (1996) ao SIRGAS2000. Anteriormente à transformações das cartas, foram determinados os parâmetros locais utilizando os dois modelos BW e MS. Estes parâmetros foram utilizados na transformação do sistema de referência da carta do município de Chapecó-SC, na escala 1:2000, de SAD69 (1996) para SIRGAS2000, por meio dos modelos BW e MS. Foram analisadas as conseqüências nas feições cartográficas, onde foram analisadas as feições pontuais, de área, e lineares. Os resultados encontrados apontam divergências na utilização dos parâmetros locais assim como na transformação a partir dos modelos que estão detalhadamente descritas no artigo.

ABSTRACT – This paper has as objective an evaluation of the transformation models Bursa-Wolf (BW) and Simplified Molodensky (MS) in the large scale digital map transformation regarding the Geodetic Reference System SAD69 (1996) to SIRGAS2000. Previously to transformations of the digital map, the local parameters are calculating using the two models BW and MS. These parameters were used in the system transformations of the municipal district Chapecó-SC, in scale 1:2000, from SAD69 (1996) to SIRGAS2000, through the models BW and MS. The consequences were analyzed in the cartographic features, where the punctual, area and linear features were analyzed, besides the accomplishment of simulations for cases of cartographic updating and junction of the cartography of neighboring municipal districts. The found results point divergences in the use of the local parameters as well as in the transformation starting from the models that are in full detail described in this paper.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho surgiu após encontrar as afirmações realizadas por FEATHERSTONE & LANGLEY (1997), HARVEY (1986), CASACA & BAIIO (2000) as quais indicavam a Bursa-Wolf como a transformação mais indicada para este processo de migração para um datum geocêntrico. O modelo de transformação Bursa-Wolf é adaptado para sistemas os quais foram definidos através de técnicas espaciais que é o caso do SIRGAS2000 e o SAD69/1996. No SAD69 com realização no ano de 1996, esta foi ajustada com dados provenientes de técnicas espaciais. OLIVEIRA (1998) afirma que neste ajustamento em 1996 foram utilizados 4939 vértices, os quais foram posicionados pelos sistemas de satélites artificiais TRANSIT (método Doppler) e GPS, respectivamente.

No Brasil a transformação entre diferentes sistemas de referência se dá por meio de parâmetros de transformação, os quais são oficialmente divulgados pelo IBGE. Na resolução R.PR 1/2005 a formulação matemática aplicada nas transformações é divulgada na seção 3 da R. PR. N°. 23, de 21 de janeiro de 1989. Nesta resolução é indicada as equações diferenciais simplificadas de Molodensky.

Diante destes fatos, a comparação da aplicação destes dois modelos tornou-se necessária para confrontar a afirmação realizada por FEATHERSTONE & LANGLEY (1997), HARVEY (1986), CASACA & BAIIO (2000) e a metodologia difundida pelo IBGE através dos documentos oficiais que apóiam a Cartografia Nacional.

2 OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo a análise apresentar os resultados de uma avaliação das conseqüências nas feições cartográficas representadas após a utilização dos modelos de transformação Bursa-Wolf (BW) e Molodensky Simplificado (MS) na transformação de uma carta em escala grande em meio digital do Sistema de Referência Geodésico SAD69 (1996) ao SIRGAS2000.

3 MATERIAL

Para este estudo utilizou-se a carta em escala grande do município de Chapecó em Santa Catarina, assim como relatórios de estações geodésicas do IBGE próximas ao município, dados referentes às estações GPS do Estado de Santa Catarina. Para realização das rotinas de programação necessárias ao estudo, utilizou-se o programa MATLAB 7.1 e na transformação da carta em meio digital, utilizou-se o software ArcGis 9.2 da ESRI, ambos softwares pertencentes ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe.

4 MODELOS MATEMÁTICOS

O Modelo de transformação Bursa-Wolf BURSA (1962) e WOLF (1963) é um modelo de transformação de coordenadas tridimensionais conforme e utilizado para transformações entre data os quais foram materializados com base em técnicas de posicionamento espaciais, de acordo com KRAKIWSKY e THOMSON (1974).

Dados quaisquer dois sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionais, a relação entre estas coordenadas nos dois sistemas pode ser modelada, pela seguinte equação matricial:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1+ds & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1+ds & R_X \\ R_Y & -R_X & 1+ds \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

O modelo Bursa Wolf) relaciona dois sistemas tridimensionais de coordenadas cartesianas, mediante 7 parâmetros de transformação, 3 translações justificadas pela diferença na origem entre os sistemas (X_0, Y_0, Z_0), três rotações, que expressam a falta de paralelismo entre os eixos (R_x, R_y, R_z) e um fator de escala, que permite homogeneizar as relações métricas dos sistemas (ds).

O modelo de Molodensky é o modelo mais utilizado na transformação de coordenadas geodésicas relativas a diferentes *data* geodésicos. As coordenadas geodésicas elipsoidais de um ponto (ϕ, λ, h) , relativas a um determinado datum geodésico, podem ser relacionados com as coordenadas geodésicas elipsoidais do ponto:

$$(\phi + \Delta\phi, \lambda + \Delta\lambda, h + \Delta h)$$

Relativas a um segundo datum geodésico, pela transformação de Molodensky. A transformação de Molodensky é apresentada THOMAS (1978) em duas versões: a versão “*standard*” e a versão *simplificada*, onde são feitas algumas simplificações. Em particular, na versão abreviada, a altitude é ignorada nas correções à latitude e à longitude.

As equações da transformação simplificada de Molodensky, que fornecem os acréscimos em latitude, longitude e altitude geodésicas às coordenadas do ponto relativas ao primeiro datum. Δa e Δf são as diferenças entre o semi-eixo maior e o achatamento dos dois elipsóides de referência e Δx , etc., são as componentes do vetor diferença entre os centros dos dois elipsóides de referência. Esta transformação ignora os parâmetros de rotação dos eixos que são considerados no modelo de Bursa-Wolf. Deve notar-se que os acréscimos da latitude e da longitude são independentes das altitudes, embora o acréscimo da altitude depende da latitude e da longitude do ponto, o que permite transformar as latitudes e as longitudes independentemente da altitude elipsoidal.

5 PARÂMETROS LOCAIS DE TRANSFORMAÇÃO

Para a determinação dos parâmetros locais foram utilizados 44 pontos com suas respectivas coordenadas tridimensionais. Foram utilizados os modelos BW e MS nos quais foram obtidos seguintes parâmetros.

MS	$\Delta x \sigma_x$	$68,010 \pm 0,460$
	$\Delta y \sigma_y$	$-3,426 \pm 0,412$
	$\Delta z \sigma_z$	$38,065 \pm 0,397$
	Δa	23
	Δf	$0,00081204 \cdot 10^4$
BW	$T_x \sigma_x$	$67,360 \pm 0,053$
	$T_y \sigma_y$	$-3,832 \pm 0,055$
	$T_z \sigma_z$	$38,349 \pm 0,047$
	$R_x \sigma_x$	$-0,0032 \pm 0,0532$
	$R_y \sigma_y$	$-0,0017 \pm 0,0011$
	$R_z \sigma_z$	$-0,0016 \pm 0,0533$
	Escala (ppm) ppm	$0,0069 \pm 0,0067$

Tabela 1: Parâmetros de transformações locais obtidos pelos modelos MS e BW

Informações detalhadas a respeito da determinação dos parâmetros de transformação podem ser adquiridas através de (FERNANDES et al, 2007).

6 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MODELOS DE TRANSFORMAÇÕES BURSA-WOLF E MOLODENSKY SIMPLIFICADA

Nesta etapa procedeu-se a um estudo para a análise da aplicação modelos de transformações Bursa-Wolf e Molodensky Simplificada na transformação da carta de Chapecó.

Após afirmações encontradas em FEATHERSTONE & LANGLEY (1997), HARVEY (1986), CASACA & BAILO (2000) as quais indicavam a Bursa-Wolf como a transformação mais indicada para este processo de migração de datum, pois esta transformação é adaptada para sistemas os quais foram definidos através de técnicas espaciais que é o caso do SIRGAS 2000 e o SAD69/1996. No SAD69 com realização no ano de 1996, esta foi ajustada com dados provenientes de técnicas espaciais. OLIVEIRA (1998) afirma que neste ajustamento em 1996 foram utilizados 4939 vértices, os quais foram posicionados pelos sistemas de satélites artificiais TRANSIT (método Doppler) e GPS, respectivamente.

Normalmente, os produtos cartográficos digitais utilizados para o Cadastro Urbano, utilizam vértices os quais foram ajustados ao SAD69/1996 e é o caso das cartas cadastrais urbanas utilizadas nesta pesquisa.

Confrontaram-se as indicações propostas por FEATHERSTONE & LANGLEY (1997), HARVEY (1986), CASACA & BAILO (2000) que propõem Bursa-Wolf com o presente na legislação cartográfica vigente que sugere o modelo Molodensky Simplificado e decidiu-se por analisar estas duas transformações e quais as implicações para a Cartografia em escala grande que é o propósito deste trabalho.

6.1 Procedimento Metodológico

Para proceder à análise das transformações aplicadas ao arquivo vetorial da Carta de Chapecó utilizou-se o programa ArcGIS 9.2, pertencente ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe.

Primeiramente foi necessária a criação de um *Geodatabase* para que se pudesse separar todas as feições em layers. Após a criação dos *Geodatabases*, as feições foram referenciadas de acordo com a projeção e sistema geodésico de referência da carta original.

Após definida a projeção e o SGR, procedeu-se a transformação do arquivo original com a utilização dos diferentes modelos de transformação.

Foram utilizadas 7 feições – pontos de apoio, sistema viário, edificações, eixo de via, folhas do mapeamento, hidrografia e postes e os parâmetros indicados no item anterior.

6.2 Análise da representação cartográfica

Fazendo uma analogia às primitivas gráficas ou elementos gráficos básicos para uma representação cartográfica que são: ponto, linha e área,, procurou-se analisar estas três primitivas gráficas na carta. Segundo NOGUEIRA LOCH (2006) ponto é a mais fundamental das primitivas gráficas, convencionalmente marca a posição; linha exibe a direção e a posição, pode ser pensada como uma sucessão de pontos e área exibe extensão, direção e posição, pode ser pensada como uma fila de pontos em duas dimensões.

6.2.1 Análise de feições pontuais

As primeiras feições avaliadas foram os postes, pois estes são representados de forma pontual na carta. Foram escolhidos 16 postes bem distribuídos na carta para o cálculo das coordenadas anterior e posteriormente à transformação.

Desta comparação entre as coordenadas UTM originais referenciadas ao SAD69 e as transformadas para SIRGAS2000, através dos modelos MS e BW, discrepâncias presentes nas tabelas 2 e 3 foram encontradas.

	E (m)	N (m)
1	-51,30	-65,65
2	-51,09	-65,71
3	-52,01	-64,37
4	-51,27	-65,64
5	-51,15	-65,12
6	-50,60	-66,25
7	-52,73	-64,78
8	-51,47	-65,05
9	-51,94	-65,24
10	-51,29	-65,53
11	-51,58	-65,11
12	-51,24	-65,51
13	-51,24	-65,51
14	-52,16	-64,70
15	-51,40	-65,50
16	-51,25	-65,58
Média	-51,48	-65,33
Desvio Padrão	0,51	0,46

Tabela2: Discrepâncias entre SAD69 e SIRGAS com a aplicação do Modelo Bursa Wolf

	E (m)	N (m)
1	-51,10	-65,58
2	-50,88	-65,64
3	-51,80	-64,31
4	-51,06	-65,57
5	-50,94	-65,05
6	-50,39	-66,19
7	-52,52	-64,72
8	-51,27	-64,99
9	-51,73	-65,17
10	-51,08	-65,46
11	-51,37	-65,04
12	-51,03	-65,44
13	-51,03	-65,44
14	-51,95	-64,64
15	-51,20	-65,44
16	-51,04	-65,52
Média	-51,27	-65,26
Desvio Padrão	0,51	0,46

Tabela 3: Discrepâncias entre SAD69 e SIRGAS com a aplicação do Modelo Molodensky Simplificado

Ao analisar as discrepâncias encontradas entre os resultados obtidos na transformação utilizando diferentes modelos de transformação, verifica-se que as implicações ocorridas em feições pontuais geram uma discrepância média com resultante de 22 cm. Uma discrepância desta ordem pode causar várias implicações no planejamento de obras de Engenharia, pois estas feições poderão apresentar erros no posicionamento em loco de estruturas como sinais de trânsito, bocas de lobo, postes, entre outras feições.

6.2.2 Análise de feições de área

O segundo teste foi realizado com 5 feições de área, estas representadas por edificações representadas na carta.

Procurou-se coletar as amostras de maneira que estas estivessem em diferentes localizações da carta, para que fosse possível verificar se haveria alguma tendência a um comportamento diferente em virtude da localização na carta.

Foram coletadas na carta as coordenadas anteriormente e posteriormente à transformação de datum, sendo que posteriormente à transformação foram coletadas coordenadas no referencial SIRGAS2000, porém utilizando os diferentes modelos de transformação, Molodensky Simplificado e Bursa Wolf.

Com o auxílio de ferramentas que possibilitaram o cálculo destas áreas, os resultados obtidos para as seguintes áreas.

	SAD69 original (m ²)	Sirgas2000 MS (m ²)	Area original – Area MS (m ²)	Diferença em %
A1	36,94	37,17	0,23	0,62
A2	890,07	892,87	2,8	0,31
A3	1020,56	1021,82	1,26	0,12
A4	277,81	278,84	1,03	0,37
A5	1816,38	1819,48	3,1	0,17
Média: 0,32				
	SAD69 original (m ²)	Sirgas2000 BW (m ²)	Area original – Area BW (m ²)	Diferença em %
A1	36,94	36,98	0,04	0,11
A2	890,07	890,88	0,81	0,09
A3	1020,56	1020,33	-0,23	0,02
A4	277,81	277,65	-0,16	0,06
A5	1816,38	1816,56	0,18	0,01
Média: 0,06				

Tabela 4: Resultados dos valores das áreas das feições coletadas.

Na tabela 4 acima são apresentadas as áreas das feições coletadas na carta original referenciada ao SAD69 e as áreas destas feições após as transformações realizadas pelos modelos Molodensky Simplificado e Bursa Wolf.

Verifica-se que as áreas permanecem mais próximas da área na carta original em SAD69 quanto se utiliza o modelo de transformação Bursa Wolf, apesar de ambos os modelos de transformação serem conformes, segundo COLLIER et al, 1996. A utilização do modelo Bursa Wolf revelou uma alteração em 0,06% de alteração nas áreas contra 0,32% no modelo Molodensky Simplificado. A aplicação do modelo de Molodensky Simplificado com 3 parâmetros de translação, não considera a rotação, nem o fator de escala, indicando um resultado mais divergente com o dado original. Numa aplicação prática, por exemplo, no georreferenciamento de imóveis e conseqüente registro do imóvel de acordo com as coordenadas do imóvel, ou até mesmo na atualização de bancos de dados dos imóveis para cálculo do IPTU; a utilização de uma transformação de datum e uma possível correção deste registro – uma vez contando que se no Brasil o registro de imóveis urbanos fossem desta maneira – poderia acarretar erros em área do imóvel.

6.2.3 Análise de feições lineares

Para análise das feições lineares foram selecionadas 5 feições lineares que foram coletadas na carta como distâncias nas regiões da Figura 20. Como realizado no item anterior, foram coletadas as distâncias na carta original em SAD69 e nas cartas em SIRGAS2000, conforme a utilização dos modelos MS e

BW. As distâncias e suas comparações foram expostas na tabela 5.

	SAD69 original (m)	Sirgas2000 MS (m)	Distância original – Distância MS (m)	Diferença em %
D1	26,02	26,15	0,13	0,48
D2	139,62	139,73	0,11	0,08
D3	177,51	177,99	0,48	0,27
D4	88,73	89,5	0,77	0,86
D5	173,67	173,79	0,12	0,07
Média: 0,35				
	SAD69 original (m)	Sirgas2000 BW (m)	Distância original – Distância BW (m)	Diferença em %
D1	26,02	26,04	0,02	0,08
D2	139,62	139,69	0,07	0,05
D3	177,51	177,46	-0,05	0,03
D4	88,73	88,65	-0,08	0,09
D5	173,67	173,64	-0,03	0,02
Média: 0,05				

Tabela 5: Resultados dos valores das áreas das feições coletadas.

Através do exposto na tabela 5 sobre as distâncias calculadas sobre as feições na carta revela que a utilização do modelo Bursa Wolf revelou em média uma diferença de 0,05% para com as distâncias calculadas na carta original antes da transformação, contra 0,35% de diferença na utilização do modelo Molodensky Simplificado.

6.2.4 Análise da sobreposição do resultado das transformações pelos diferentes modelos – MS e BW

Os arquivos obtidos da transformação com o uso do modelo MS e do modelo BW em SIRGAS2000 foram sobrepostos e após isso foram realizadas análises a respeito das escalas em que poderiam ser percebidas as divergências entre os arquivos, teste o qual é exemplificado através das figuras 1 e 2. Este teste tem a intenção de apresentar uma indicação do que haveria se para um mapeamento realizado em etapas. Ou até mesmo no caso de conexão de cartografia municípios vizinhos. A alteração que poderia ocorrer após a realização da conversão para o novo referencial geodésico brasileiro, em virtude do uso de diferentes metodologias para a conversão de referencial.

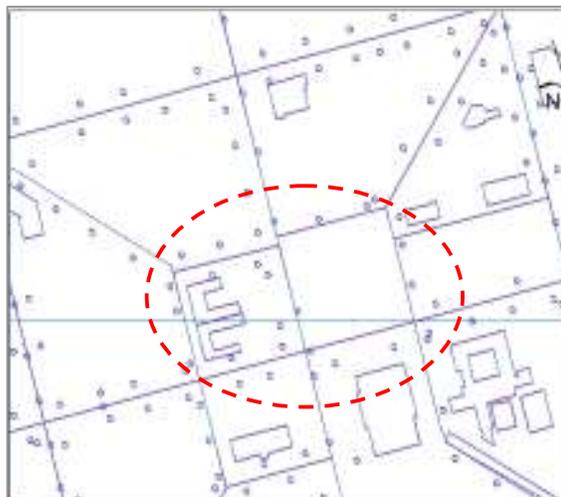


Figura 1 - Sobreposição dos arquivos após a transformação na escala 1:2000

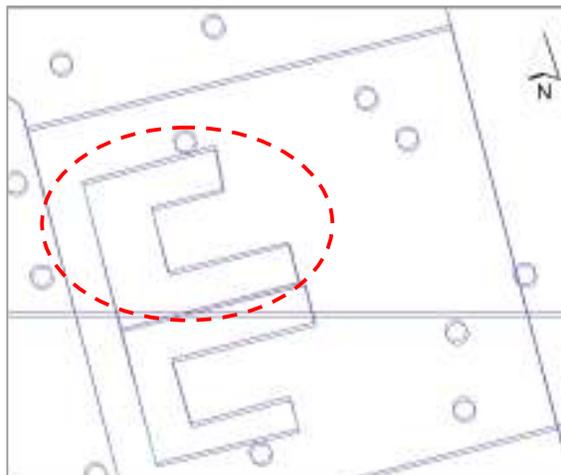


Figura 2 - Sobreposição dos arquivos após a transformação na escala 1:500

7. CONCLUSÃO

Conclui-se a necessidade de atenção ao procedimento de transformação de coordenadas geodésicas e de arquivos vetoriais utilizados nas atividades de Cartografia e afins. O uso de diferentes procedimentos de transformação gera diferenças nos valores de coordenadas transformadas.

As conseqüências dessas diferenças são percebidas na fusão/junção de dados de múltiplas fontes, por exemplo. Duas bases de dados podem estar sob o mesmo sistema de referência, mas se foram transformadas através de procedimentos diferentes podem fazer com que a transformação de uma mesma feição resulte em duas representações diferentes.

Portanto, ao utilizar softwares de diferentes proveniências na transformação de coordenadas e de arquivos vetoriais. Ao inserir os parâmetros referentes à transformação em questão, dirigir atenções à documentação técnica dos dados e dos procedimentos aplicados a eles para que sejam uniformemente empregados.

RÖSCH, N. The Transformation of Coordinates Based on Design Patterns. *Boletim de Ciências Geodésicas*. v. 13, n. 2. Curitiba.2007

REFERÊNCIAS

FEATHERSTONE, W. E. A Comparison of existing coordinate transformation models and parameters in Australia. *Trans Tasman Surveyor*. Volume 1. Number 2. 1997.

HARVEY, B. R. Transformations of 3-D Coordinates. *The Australian Surveyor*. 1986.

CASACA, J. M. BAILO, M. *Topografia Geral*. Lidel Ed. Técnicas. Lisboa, 2000.

OLIVEIRA, L.C. Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associadas ao SAD 69: Uma Proposta Metodológica de Transformação. 197f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

Thomas, A.: *The Transit, Navigation Satellite System, Status Theory Performance Applications*. 1978.

BURSA, M. The theory for the determination of the non-parallelism of the minor axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the Earth, and the planes of the initial astronomic and geocentric meridians from observations of artificial Earth satellites. *Studia Geophysica et Geodetica*. N°6. pp. 209-214. 1962.

WOLF, H. Geometric connection and re-orientation of three-dimensional triangulation nets. *Bulletin Géodésique*. N°68. pp. 165-169. 1963.

Krakiwsky, E.J. and Thomson, D.B. (1974) Mathematical models for the combination of terrestrial and satellite networks, *The Canadian Surveyor*, vol. 28, no. 5, pp. 606-615.

FERNANDES, V. de O.; LOCH, Ruth E. N. Proposal of Standardization of Digital Cadastral Urban Cartography. *Revista Brasileira de Cartografia* No 59/03, Dezembro 2007. (ISSN 1808-0936)

LOCH, R. E. N. *Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais*. Ed. da UFSC. Florianópolis, 2006.

COLLIER, P.; LEAHY, F. ARGESSEANU, A. transition to the geocentric datum of Australia. Department of Geomatics. The University of Melbourne. 1996.