

MODELAGEM DAS DISTORÇÕES ENTRE DIFERENTES REALIZAÇÕES DA REDE PLANIMÉTRICA DO SGB UTILIZANDO O SOFTWARE NTv2

Sonia Maria Alves Costa

Marcos Ferreira dos Santos

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

Diretoria de Geociências

Coordenação de Geodésia

sonia.alves@ibge.gov.br, marcos.f.santos@ibge.gov.br

Av. Brasil, 15.671 – Bloco III A – 2º andar

CEP: 21241-051 – Parada de Lucas – Rio de Janeiro, RJ

RESUMO

No início do ano 2005, o IBGE adotou oficialmente, através da Resolução da Presidência nº1/2005, o sistema de referência SIRGAS2000 para o Brasil. Juntamente com a adoção do SIRGAS2000 foram divulgados os resultados do ajustamento da rede planimétrica no novo sistema e foram estimados parâmetros de transformação entre SIRGAS2000 e SAD69 – materialização 1996. Estes parâmetros foram estimados utilizando um conjunto de 63 estações pertencentes à Rede GPS. Com estes parâmetros pretende-se atender as transformações de coordenadas que envolvam estações GPS, uma vez que, atualmente, a maioria dos usuários faz uso desta técnica de posicionamento. A próxima etapa a ser percorrida na consolidação do sistema SIRGAS2000 ficou a cargo do Grupo de Trabalho 3 (GT 3) do Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG) e consiste na modelagem das distorções existentes entre as diferentes realizações da Rede Planimétrica, bem como em sua implementação e divulgação através de aplicativos computacionais. Estas atividades serão realizadas em paralelo por cinco grupos de estudos diferentes, sendo um deles o IBGE. A proposta apresentada pelo grupo de estudo do IBGE prevê a modelagem das distorções da rede usando o software NTv2 – National Transformation, version 2, desenvolvido pelo Geodetic Survey Division – Geomatics Canada (GSD). Em primeira análise e através de um inventário sobre as realizações da Rede Planimétrica verificou-se a existência de 3 realizações em Córrego Alegre e duas em SAD 69. A proposta deste trabalho é analisar as distorções existentes entre duas realizações da rede, a do SAD69, realização 1996 e o SIRGAS2000. Em uma primeira etapa do estudo, são feitas avaliações do comportamento das distorções usando três tipos de configuração da Rede, são elas: com todas as estações da rede planimétrica (Rede clássica + Rede GPS), somente as estações da rede clássica e somente as estações da rede GPS. Serão apresentadas as conclusões visando subsidiar as etapas seguintes, como por exemplo: o número e grau dos coeficientes e a quantidade de vizinhos a serem utilizados para gerar o modelo. Também será apresentada a metodologia, bem como os resultados da interpolação obtidos em uma amostra de estações, localizadas nas áreas de maiores distorções da rede.

PALAVRAS CHAVES: SIRGAS2000, SGB, modelagem de distorções.

ABSTRACT

In the beginning of the year 2005, IBGE has officially adopted the SIRGAS2000 reference system for Brasil by the presidential resolution nº1/2005. Together with the adoption of SIRGAS2000, results of the adjustment of the horizontal network in the new system, as well as transformation parameters between SIRGAS2000 and SAD96 (1996 realization) were released. These parameters were estimated using a group of 63 stations belonging to the GPS network. These parameters can be used in coordinate transformations involving GPS stations, once, nowadays, the great part of users make use of this positioning technique. The next step to be concluded in order to consolidate SIRGAS2000, is within the responsibility of Working Group 3 (WG 3) of the Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG) and consists in modeling the distortions that exist between the different realizations of the Horizontal Network, in the implementation and publication through software. These activities will be done in parallel by five different study groups, one being IBGE. The proposal presented by the IBGE study group, forsees modeling network distortions using the software NTv2 – National Transformation, version 2, developed by Geodetic Survey Division – Geomatics Canada (GSD). The inventory of the realizations of Horizontal Network, showed the existence of three realizations in Córrego Alegre and two in SAD 69. The purpose of this paper is to analyze the existing distortions between two network

realizations, SAD 69 (realization 1996) and SIRGAS2000. In a first step of this study, the behavior of distortions is analyzed using three different network configurations: including all stations of horizontal network (classical+GPS), only with classical network stations and only with stations of GPS network. The conclusions will be presented in order to aid the following steps, for example: the degree and number of coefficients and the quantity of neighboring stations to be used to create the model. The methodology will also be presented, as well as interpolation results obtained in a selected group of stations, localized in the areas with high network distortion.

KEYWORDS: SIRGAS2000, Brazilian Geodetic Reference Frame, models distortion (Grid Shift File).

1 INTRODUÇÃO

Na responsabilidade de gestor do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB e coordenador do Projeto Mudança do Referencial Geodésico – PMRG, o IBGE objetiva promover a adoção no país de um novo sistema de referência, mais moderno e de concepção geocêntrica, de modo a compatibilizá-lo com as mais modernas tecnologias de posicionamento.

Atualmente com a extensa aplicação das técnicas de posicionamento espacial, foi necessário adotar um sistema de referência geocêntrico. Com este objetivo, a adoção do referencial SIRGAS2000 foi oficializada em 25/02/2005, através da Resolução do Presidente do IBGE nº1/2005. A partir desta data foram disponibilizadas no portal do IBGE na internet, as coordenadas de 2403 estações cujas coordenadas foram obtidas através de observações à satélites, sendo elas do sistema NAVSTAR/GPS (Global Positioning System) e TRANSIT, e também foram disponibilizados os parâmetros de transformação entre SIRGAS2000 e SAD69 – materialização 1996.

O presente trabalho apresenta a proposta que o grupo de estudo do IBGE submeterá ao Grupo de Trabalho 3 (GT 3) do Projeto Mudança do Referencial Geodésico para a modelagem das distorções existentes entre as diferentes realizações da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. Esta proposta prevê a modelagem das distorções da rede através do software NTV2 – National Transformation, version 2, desenvolvido pelo Geodetic Survey Division – Geomatics Canada (GSD). Sendo assim, o item 2 apresentará uma breve descrição dos módulos componentes deste software, o item 3 apresentará a metodologia utilizada para o cálculo das distorções, o item 4 apresentará o comportamento das distorções usando três tipos de configuração da Rede (rede GPS, rede Clássica e rede GPS + Clássica) e finalmente no item 5 serão apresentadas às conclusões visando subsidiar as próximas etapas para a consolidação do SIRGAS2000.

2 NTv2

O NTV2 - National Transformation, version 2, desenvolvido pelo Geodetic Survey Division – Geomatics Canada (GSD) é um conjunto de programas

que tem entre suas funções desenvolver as seguintes tarefas: avaliação sobre inconsistências encontradas entre as coordenadas pertencentes a duas realizações de redes geodésicas; transformação de coordenadas entre sistemas geodésicos de referência aplicando somente a transformação de Helmert; cálculo de um grid, utilizado para modelar as distorções oriundas das materializações dos sistemas de referência e efetuar a interpolação de coordenadas neste grid.

A seguir serão descritos de maneira sucinta os módulos do NTV2 que foram utilizados na elaboração deste trabalho:

- FMATCH: utilizado para encontrar os pontos (estações) comuns entre os dois arquivos de dados de coordenadas. Cada arquivo representa uma realização diferente da rede, no caso deste trabalho um arquivo representa a realização SIRGAS2000 provinda do ajustamento e o outro representa a realização SIRGAS2000 provinda dos parâmetros de transformação entre o SIRGAS2000 e o SAD69, realização 1996;
- NEARPT: apresenta diversas funções de análises das coordenadas dos pontos. Durante o processamento são determinados quais os vizinhos mais próximos de cada ponto existente no arquivo, após esta determinação são calculados raios que definem a densidade da rede na vizinhança destes pontos e é realizada uma análise da consistência dos deslocamentos das coordenadas na vizinhança de cada ponto;
- GRIDPT: gera o arquivo grid vazio, contendo apenas os limites (latitude e longitude) do grid e seu espaçamento;
- ESTPM2 (Estimation of Secondary Terrestrial Positions for Mapping): calcula o modelo de distorção e a aplicação deste modelo nos pontos do grid, no item 3 será melhor descrita a metodologia utilizada para o cálculo destas distorções.
- DIRFIL: cria o arquivo do grid propriamente dito (arquivo com a extensão .gsb – Grid Shift Binary).
- INTGRID: converte e informa os deslocamentos (shift) e a acuracidade dos deslocamentos entre as

coordenadas de diferentes sistemas de referencia ou realizações destes sistemas.

3 METODOLOGIA

Nesta primeira etapa o arquivo contendo todas as estações planimétricas pertencentes ao SGB necessitou passar por uma filtragem onde foram retiradas todas as estações que se encontravam no hemisfério norte. Este procedimento foi necessário, pois o software NTv2 não trabalha com a mudança de hemisfério, ou seja, durante o seu processamento ele considera o valor absoluto das coordenadas o que inviabiliza o processamento da rede como um todo. Outras estações também foram retiradas do arquivo original, pois não participaram dos ajustes, seja em SAD69 – realização 1996, seja em SIRGAS2000. As estações GPS que foram retiradas do arquivo não foram ajustadas devido à indisponibilidade dos dados primários para o processamento e ajuste

A etapa seguinte consistiu na transformação das coordenadas entre as duas realizações (SAD69-1996 e SIRGAS2000) aplicando às coordenadas uma transformação conforme (Helmert). O objetivo desta transformação é manter a geometria da estrutura geodésica, ou seja, manter o relacionamento entre as coordenadas a serem transformadas.

Sendo assim, fornecidos dois conjuntos de coordenadas pertencentes a todas as estações comuns em ambas as materializações, oriundas de ajustamentos SAD69-1996 e SIRGAS2000 ($SAD69_{AJD}$ e $SIRGAS_{AJD}$), são aplicados ao conjunto de coordenadas $SAD69_{AJD}$ os parâmetros de transformação que constam na RPR 01/2005 da Presidência do IBGE, obtendo-se coordenadas SIRGAS2000 transformadas ($SIRGAS_{TRANS}$).

A etapa seguinte consistiu na seleção das estações que servirão para a verificação do desempenho da modelagem de distorções entre os dois conjuntos de coordenadas. Para tanto serão utilizadas as diferenças remanescentes (resíduos) após a aplicação do modelo e os seus respectivos valores reais ajustados. É importante destacar que tanto a magnitude quanto a distribuição espacial dos resíduos são importantes. Geralmente pequenos resíduos com tendência sistemática conduz a uma boa modelagem.

Com esta finalidade foram selecionadas 70 estações espalhadas nas áreas de maiores distorções da rede brasileira (Figura 1). Na escolha das estações de controle, também foram selecionadas aquelas estabelecidas por GPS, com o objetivo de verificar o atendimento deste procedimento com este segmento de usuários.

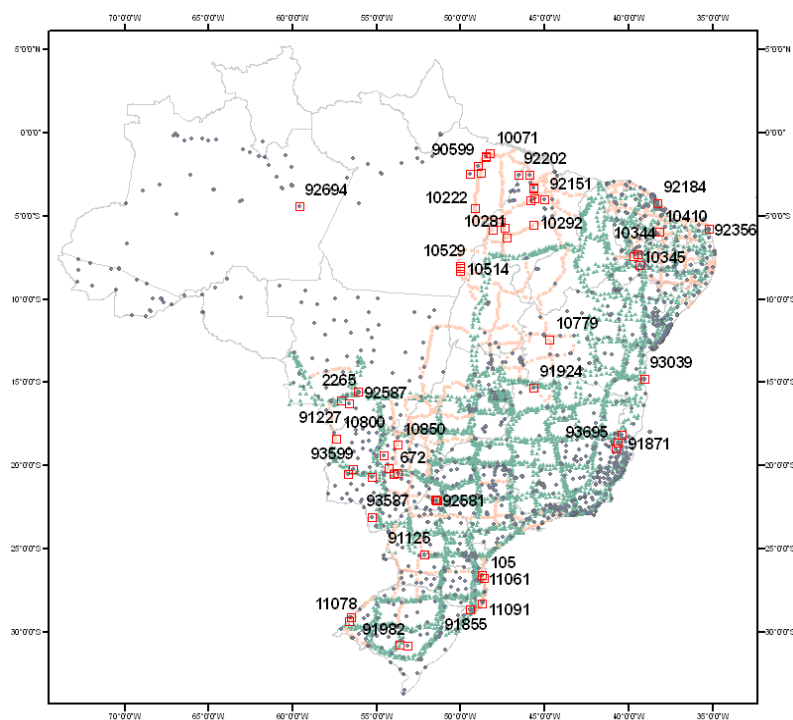


Figura 1 – Distribuição das estações de controle

Na etapa seguinte as diferenças existentes entre as coordenadas $SAD69_{TRANS}$ e $SIRGAS_{AJD}$ serão tratadas através de uma modelagem polinomial que representará as tendências regionais fornecidas pelos

vetores de correção nas estações de controle. Sendo assim, a partir dos conjuntos de coordenadas $SIRGAS_{TRANS} = (X_i^1, Y_i^1)$ e $SIRGAS_{AJD} = (X_i^2, Y_i^2)$, são calculadas correções, que serão utilizadas na

interpolação de um ponto qualquer que não pertence ao conjunto SIRGAS_{TRANS} e SIRGAS_{AJD} conforme a formulação abaixo.

Seja,

X_0 = latitude média das estações de controle;

Y_0 = longitude média das estações de controle;

U_i = diferenças em latitude das estações de controle
SIRGAS_{TRANS} e SIRGAS_{AJD};

V_i = diferenças em longitude das estações de controle
SIRGAS_{TRANS} e SIRGAS_{AJD};

U_0 = média das diferenças em latitude;

V_0 = média das diferenças em longitude;

S_x = fator de escala em latitude;

S_y = fator de escala em longitude;

S_u = fator de escala das diferenças em latitude;

S_v = fator de escala das diferenças em longitude;

X_{\max}^1 = latitude máxima das estações de controle;

Y_{\max}^1 = longitude máxima das estações de controle;

U_{\max} = valor máximo das diferenças em latitude das
estações de controle;

V_{\max} = valor máximo das diferenças em longitude das
estações de controle;

np = número de estações de controle (i).

$$X_0 = \sum X_i^1 / np;$$

$$U_i = X_i^2 - X_i^1;$$

$$U_0 = \sum U_i / np;$$

$$S_x = 1 / X_{\max}^1;$$

$$S_u = 1 / (U_{\max}^2 - U_0^2)^{1/2};$$

$$S_{U0} = \max (X_i^2 - X_i^1);$$

$$Z_{xi} = S_x (X_i^1 - X_0);$$

$$E_{xi} = S_u (U_i - U_0);$$

$$Y_0 = \sum Y_i^1 / np;$$

$$V_i = Y_i^2 - Y_i^1;$$

$$V_0 = \sum V_i / np;$$

$$S_y = 1 / Y_{\max}^1;$$

$$S_v = 1 / (V_{\max}^2 - V_0^2)^{1/2};$$

$$S_{v0} = \max (Y_i^2 - Y_i^1);$$

$$Z_{yi} = S_y (Y_i^1 - Y_0);$$

$$E_{yi} = S_v (V_i - V_0);$$

As correções estimadas em uma estação qualquer P são baseadas na média ponderada das correções das coordenadas estimadas para todos os pontos de controle em torno dele. A correção em qualquer latitude e longitude é dada por:

$$Cx_i = \sum w_i Ex_i / \sum w_i$$

$$Cy_i = \sum w_i Ey_i / \sum w_i$$

Onde E_{xi} e E_{yi} são as correções nos pontos de controle i , segundo latitude e longitude, respectivamente. O peso (w_i) designado a cada ponto de controle i é função da distância (d_i) entre o ponto de controle e o ponto onde serão estimadas as correções e a distância (k) de seleção dos pontos de controle para interpolação (Figura 2). O peso é calculado através da seguinte fórmula:

$$w_i = e^{-(d_i/k)^2};$$

$$d_i = Z_{xi} Z_{yi}$$

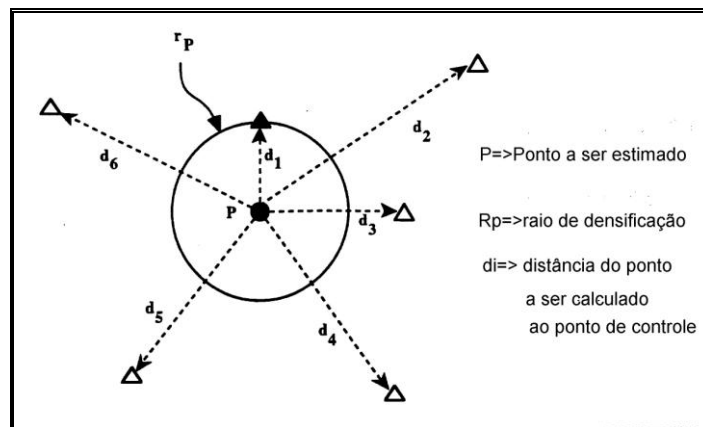


Figura 2 – Parâmetros de Estimativa da Média Ponderada em um Ponto Qualquer Programa ESTPM. [Fonte Junkins & Erickson, 1996]

Os resíduos em latitude e longitude (Rx_i e Ry_i), estimados para cada estação de controle são calculados por:

$$Rx_i = Fu_i + Cx_i - U_i; \quad Ry_i = Fv_i + Cy_i - V_i;$$

Onde:

$$Fu_i = U_i - Ex_i / S_u;$$

$$Fv_i = V_i - Ey_i / S_v;$$

Para uma melhor visualização das distorções entre SIRGAS_{TRANS} e SIRGAS_{ADJ}, foram gerados dois tipos de cartogramas. O primeiro cartograma (Figura 3) apresenta a plotagem de um grid com espaçamento de 10'x 10', gerado através de valores de distorções,

utilizando toda a rede (rede clássica + rede GPS) e um número de 25 estações vizinhas. No segundo cartograma (Figura 4) são apresentados os vetores deslocamento para a verificação do seu comportamento em termos de direção.

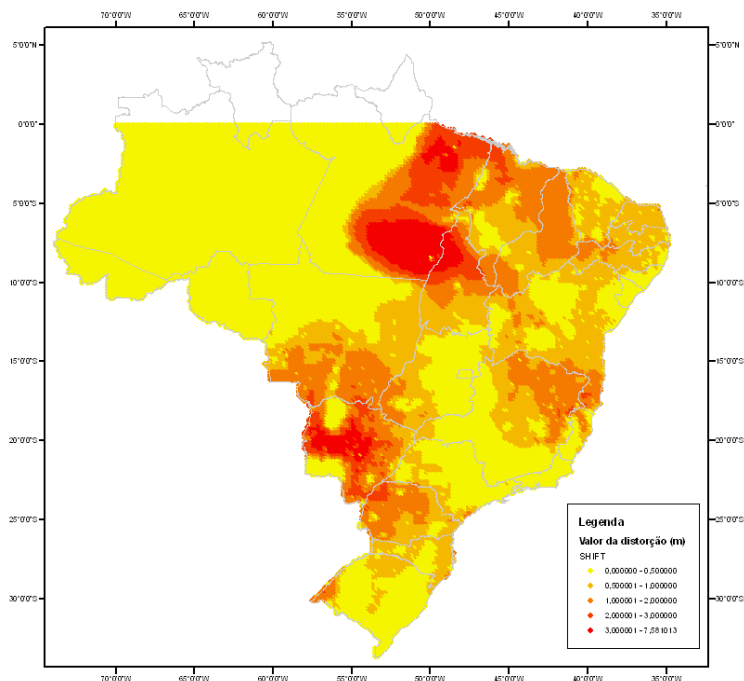


Figura 3 – Cartograma com os valores das distorções gerado através de um grid com espaçamento de 10'x 10'

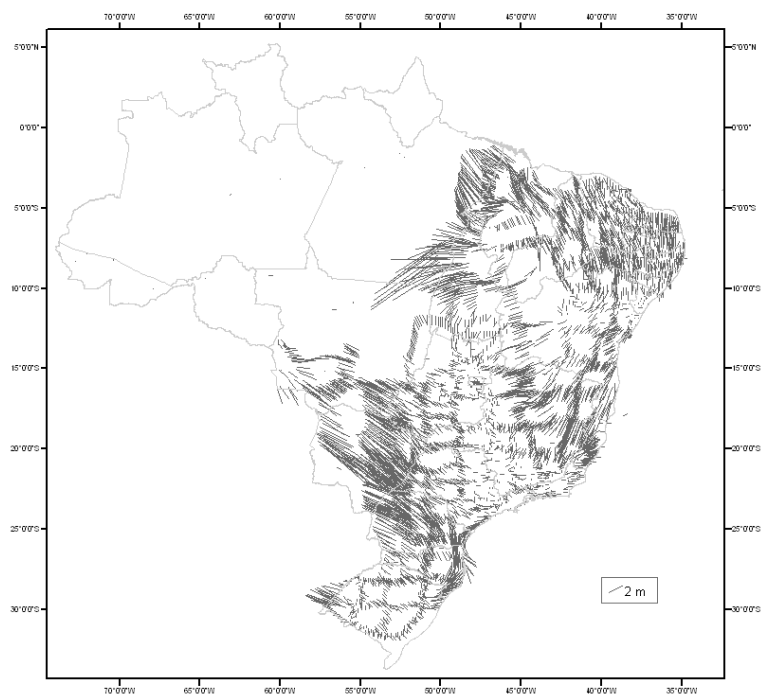


Figura 4 - Cartograma representado os vetores deslocamento entre SIRGAS_{TRANS} e SIRGAS_{ADJ}.

4 TESTES E RESULTADOS

A área teste abrange os limites: $00^{\circ} \leq \varphi \leq -30^{\circ}$ e $-75^{\circ} \leq \lambda \leq -35^{\circ}$. O grau do polinômio escolhido para o cálculo dos coeficientes foi 1 e a distância de seleção dos pontos de controle foi mantida a *default*.

Na TABELA 1 são apresentados alguns resultados obtidos após a aplicação da modelagem de distorções no ESTPM, onde foram utilizados os pontos de controle na determinação do grid, sendo que nas quatro últimas colunas, estão os resíduos após a aplicação de diferentes parâmetros de entrada do ESTPM. A diferença nos resultados ocorre principalmente em virtude do universo de estações utilizado durante a elaboração do grid (rede GPS, rede Clássica, rede GPS + rede Clássica) e pela quantidade de estações vizinhas utilizadas na interpolação.

Na TABELA 2 são apresentados alguns resultados obtidos após a aplicação da modelagem de distorções no ESTPM, sem a utilização dos pontos de controle na determinação do grid, sendo que nas três últimas colunas, estão os resíduos após a aplicação de diferentes parâmetros de entrada do ESTPM. Mais uma vez a diferença nos resultados ocorre principalmente em virtude do universo de estações utilizado durante a elaboração do grid (rede GPS, rede Clássica, rede GPS + rede Clássica).

Através das tabelas conclui-se que o fator que apresenta maior influência nos resultados trata-se da tecnologia nas quais os dados foram obtidos (Rede Clássica ou Rede GPS). Nota-se também que a retirada dos pontos de controle tem grande influência principalmente nos locais de maiores distorções da rede.

TABELA 1 – DIFERENÇAS (EM COORDENADAS) OBTIDAS ANTES DA APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO SAD69-1996 / SIRGAS2000 E DIFERENÇAS OBTIDAS APÓS A APLICAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO E MODELAGEM DAS DISTORÇÕES NO NTv2, COM A UTILIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE NA DETERMINAÇÃO DO GRID DE MODELAGEM DE DISTORÇÃO.

* diferenças entre SAD69-1996 e SIRGAS

** resíduos encontrados após a aplicação dos parâmetros de transformação e modelagem das distorções.

Estação	DIF (metros)*	Rede Clássica + Rede GPS 25 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**	Rede Clássica + Rede GPS 10 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**	Rede GPS 25 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**	Rede Clássica 25 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**
10237	0,859	0,183	0,183	0,864	0,181
10276	2,001	1,089	1,089	2,007	0,454
92184	0,182	0,035	0,035	0,054	0,3
10514	7,6	1,184	1,184	7,569	1,184
10529	7,518	0,013	0,013	7,486	0,013
10299	2,186	1,512	1,512	2,192	0,571
10345	2,128	1,522	1,522	2,128	0,824
90604	0,03	2,879	2,879	0	3,547
93742	0,102	0,905	0,905	0,012	2,297
10779	1,226	0,061	0,061	1,244	0,018
91855	0,013	0,661	0,661	0,003	1,057
11091	1,348	0,788	0,788	1,327	0,245
91934	0,012	0,143	0,143	0	1,575
11078	1,877	0,199	0,199	1,871	0,067
93712	0,03	0,871	0,871	0,001	1,542
10344	1,973	0,647	0,647	1,973	0,169
10781	0,809	0,424	0,424	0,785	0,002
93039	0,028	0,358	0,358	0,003	0,784
92356	0,017	0,494	0,494	0,005	0,984

TABELA 2 – DIFERENÇAS (EM COORDENADAS) OBTIDAS ANTES DA APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO SAD69-1996 / SIRGAS2000 E DIFERENÇAS OBTIDAS APÓS A APLICAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO E MODELAGEM DAS DISTORÇÕES NO NTv2, SEM A UTILIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE NA DETERMINAÇÃO DO GRID DE MODELAGEM DE DISTORÇÃO.

* diferenças entre SAD69-1996 e SIRGAS

** resíduos encontrados após a aplicação dos parâmetros de transformação e modelagem das distorções.

Estação	DIF (metros)*	Rede Clássica 25 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**	Rede GPS 25 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**	Rede Clássica + Rede GPS 25 vizinhos Espaçamento 10'x10' (metros)**
10237	0,859	0,47	0,864	0,516
10276	2,001	0,973	2,007	1,436
92184	0,182	0,302	0,064	0,043
10514	7,6	5,184	7,569	5,181
10529	7,518	1,283	7,486	1,284
10299	2,186	0,663	2,192	1,653
10345	2,128	1,206	2,128	2,061
90604	0,03	3,231	0,054	3,208
93742	0,102	2,293	0,016	1,315
10779	1,226	0,074	1,244	0,269
91855	0,013	1,057	0,004	0,825
11091	1,348	0,428	1,327	0,96
91934	0,012	1,569	0	0,897
11078	1,877	0,165	1,872	0,265
93712	0,03	1,542	0,001	1,162
10344	1,973	0,382	1,973	1,19
10781	0,809	0,003	0,787	0,434
93039	0,028	0,785	0,005	0,348
92356	0,017	0,983	0,006	0,492

Conclui-se através das TABELAS 1 e 2 que os resultados são satisfatórios na aplicação desta técnica, pois os resíduos obtidos estão em média dentro dos desvios padrão das coordenadas.

É importante destacar que a utilização da modelagem de distorções, seja ela em qualquer alternativa a ser proposta, não melhora a precisão das coordenadas de uma determinada estação que está sendo submetida a este procedimento. A precisão das coordenadas de uma estação está relacionada somente com a técnica observacional utilizada no estabelecimento da estação. Portanto, se uma estação de poligonal ou vértice de triangulação for integrada ao SIRGAS2000 através deste ou outro procedimento qualquer, terá a sua precisão mantida. Em contrapartida, ocorrerá uma deterioração na precisão das coordenadas de uma estação estabelecida por GPS, a qual pretende ser integrada ao SAD69, na medida em

que a geometria das suas observações não for mantida, em detrimento da adequação à materialização em SAD69. Mais uma vez é necessário esclarecer que a modelagem de distorções, como procedimento de integração, preserva apenas o relacionamento com o referencial a ser integrado.

5 CONCLUSÕES

Os primeiros resultados que podem ser inferidos sobre estes testes iniciais demonstram que o fato de se utilizar 25 ou 10 vizinhos não altera os resultados finais; há a necessidade de se produzir grids diferentes que levem em consideração a técnica observacional utilizada no estabelecimento do levantamento base, ou seja, Rede Clássica ou Rede GPS, pois os deslocamentos obtidos por estas duas redes são de magnitude e direção diferentes. Isso pode ser verificado, por exemplo, na estação 92184

(TABELA 1), onde o deslocamento real é de 0,182 m e para a modelagem de distorção que utilizou o grid produzido com toda a rede (Rede Clássica + Rede GPS) este deslocamento é corrigido em 0,035 m, enquanto que com a utilização do grid produzido somente com as observações da rede GPS este deslocamento passa a ser corrigido em 0,054 m.

Outro ponto importante a ser destacado é que em casos onde os resíduos das estações têm um grande peso em sua região, a sua retirada pode não representar de maneira satisfatória o deslocamento nesta região. Como por exemplo, a estação da rede clássica 10514 que possui um deslocamento real de 7,6 metros, o seu resíduo após a aplicação das correções usando o grid gerado com a utilização de todos os pontos de controle é de 1,184 m, e o resíduo existente após a aplicação das correções utilizando o grid gerado sem a utilização de todos os pontos de controle é de 5.181 m. Nota-se, portanto que a modelagem é mais eficiente quando se utiliza o grid gerado com todos os pontos de controle.

Ainda existem inúmeros ensaios que deverão ser realizados. Sendo assim, as próximas etapas a serem realizadas no estudo da modelagem de distorção consistem na melhor avaliação das redes separadamente, ou seja, Rede Clássica e Rede GPS, para que se possam obter os melhores grids de distorção com as magnitudes e a distribuição espacial dos resíduos inerentes a cada tecnologia. Outro ponto que necessita ser melhor estudado é a modelagem de distorção na região de transição entre os hemisférios.

Desta forma, a realização de estudos sobre a modelagem de distorções não se esgota nestes resultados. Este artigo limitou-se somente em apresentar os primeiros resultados da metodologia a ser proposta pelo grupo de estudo do IBGE ao Grupo de Trabalho 3 (GT 3) do Projeto Mudança do Referencial Geodésico para a modelagem das distorções.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, S. M. A., Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres, Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, 1999.

IBGE Resolução PR – nº 01 – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro, 2005.

Junkins, D., NTv2 – Procedures for the Development of a Grid Shift File, Geodetic Survey Division – Geomatics Canada, December 1998.

Junkins, D.R., Erickson C.. Version2 of the National Transformation between NAD27 and NAD83 and It's Important for GPS positioning in Canada. Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, Ottawa, 1996.