
DESLOCAMENTO DAS ESTAÇÕES SIRGAS-CON EM FUNÇÃO DO TERREMOTO OCORRIDO NO CHILE – UMA ABORDAGEM DO CENTRO DE PROCESSAMENTO SIRGAS - IBGE

ALBERTO LUIS DA SILVA
SÔNIA MARIA ALVES COSTA
JHONNES ALBERTO VAZ

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências - DGC
Coordenação de Geodésia - CGED, Rio de Janeiro, RJ
{alberto.luis, sonia.alves, jhannes.vaz}@ibge.gov.br

RESUMO - Às 06h34min (horário de Greenwich) do dia 27 de fevereiro de 2010, ocorreu um dos maiores terremotos já registrados em todos os tempos. O terremoto de 8.8 graus de magnitude durou cerca de 3 minutos e ocorreu no mar da Região de Maule a uma distância de aproximadamente 115 km de Concepción, segunda maior cidade do Chile, e a uma profundidade de 35 km. A força do terremoto foi tão intensa que alterou a posição da superfície terrestre de parte do continente sul-americano, principalmente no Chile e Argentina, conforme resultados determinados pelo Centro de Processamento SIRGAS – IBGE. Segundo os resultados, o deslocamento da estação CONZ (estação localizada em Concepción pertencente à Rede de estações GNSS contínua SIRGAS-CON e IGS – Serviço Internacional GNSS) foi de aproximadamente 3 metros. Outras estações no Chile e na Argentina tiveram deslocamentos que variaram de dois a trinta centímetros. Nesse artigo, serão apresentados os resultados dos deslocamentos determinados pelo IBGE para as estações da rede SIRGAS-CON, assim como uma avaliação temporal dessas estações antes e após o terremoto de 27 de fevereiro.

ABSTRACT - At 06:34 (GMT time) on February 27, 2010, was recorded one of the largest earthquakes ever seem. The earthquake of 8.8 magnitude took about 3 minutes and occurred in the sea of Maule Region at a distance of about 115 km from Concepción, the second largest city of Chile, and a depth of 35 km. The strength of the quake was so intense that it changed the position of the surface part of the South American continent, especially in Chile and Argentina. According to the results determined by the Processing Center SIRGAS – IBGE, the displacement of CONZ station (station located in Concepcion belonging to the Network of continuous GNSS stations SIRGAS-CON) was approximately 3 meters. Other stations in Chile and Argentina had displacements ranging from two to thirty centimeters. In this article, will be presented the results of shifts computed by the IBGE for the stations of SIRGAS-CON network, as well as a temporal assessment of these stations before the earthquake in February 27.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início das atividades do Centro de Processamento SIRGAS – IBGE em 2008, a principal atividade realizada é o tratamento e processamento dos dados das estações contínuas GNSS localizadas na América do Sul, Caribe e Antártica (SILVA, COSTA., 2007). Esse processamento consiste na determinação diária das coordenadas dessas estações, monitorando-as a partir de séries temporais, como forma de verificar alguma alteração em suas posições, decorrentes de diversos fatores como por exemplo o movimento das placas litosféricas e terremotos, além de outros movimentos locais, como subsidência de solo, recalque e variação estrutural devido à carga da massa d'água, etc.

Define-se por redes contínuas GNSS (*Global Navigation Satellite System*), o conjunto de estações geodésicas estabelecidas em locais estáveis da superfície terrestre, materializadas por uma estrutura rígida, nas quais são instalados receptores GNSS de dupla-frequência, coletando dados continuamente. A RBMC é um exemplo de rede brasileira ativa GNSS.

Com a implantação deste novo conceito de estações geodésicas, torna-se possível avaliar sistematicamente as variações ocorridas na realização de um sistema de referência geodésico ao longo do tempo, possibilitando assim, a determinação de novos parâmetros para esse sistema, assim como o aprimoramento dos modelos de velocidades.

Atualmente o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) é materializado por uma rede denominada SIRGAS-CON, rede de estações GNSS de operação contínua, distribuídas na América do Sul, Central e Caribe conforme mostra a Figura 1.

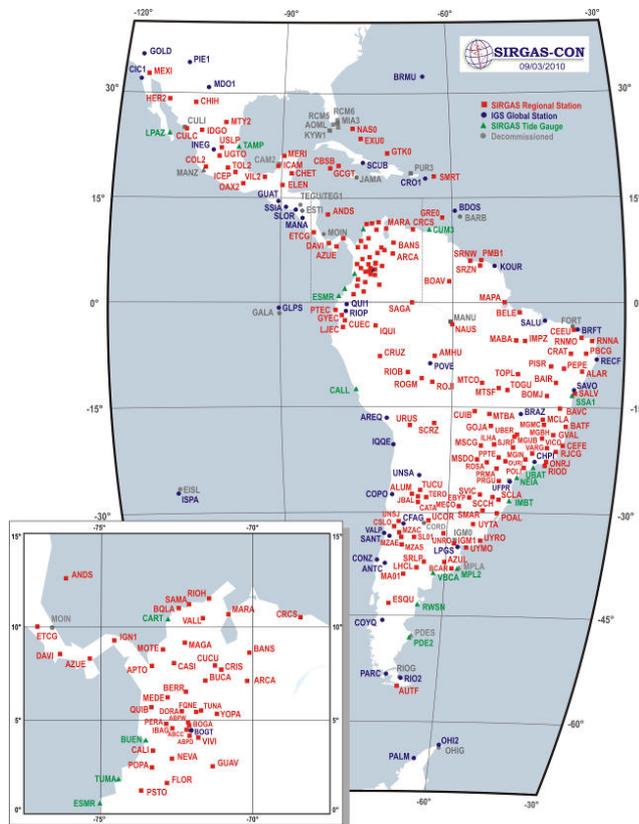


Figura 1 – Rede SIRGAS-CON (www.sirgas.org).

Os Centros de Processamento SIRGAS foram instituídos com a finalidade de determinar de forma sistemática, as coordenadas das estações pertencentes à rede SIRGAS-CON, assim como outras informações referentes à rede, a fim de dar suporte à manutenção do sistema. Atualmente existem seis centros de processamento SIRGAS oficiais: o IBGE através da Coordenação de Geodésia; o Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (Colômbia), o Instituto de Geodésia y Geodinámica de la Universidad Nacional del Cuyo IGG-CIMA (Argentina), Instituto Geográfico Militar de Ecuador IGM-EC, Servicio Geográfico Militar del Uruguay SGM-Uy e Laboratorio de Geodesia Física y Satelital, Universidad del Zulia, LGFS-LUZ (Venezuela), além do centro de análise associado do IGS para o SIRGAS RNAAC-SIR no DFGI – Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (Alemanha), sendo este último, o centro oficial IGS responsável pela solução regional da América Latina e Caribe. Cada um dos centros ficou responsável pelo processamento de parte da rede SIRGAS-CON.

2 CENTRO DE PROCESSAMENTO SIRGAS IBGE

O centro de processamento SIRGAS – IBGE apesar de ter iniciado oficialmente suas atividades em 2008, tem resultados do processamento dos dados GNSS coletados desde janeiro de 2003 (semana GPS 1199) (COSTA et al., 2007). A princípio a principal preocupação era avaliar a qualidade dos dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC que são disponibilizados aos usuários. Entretanto, o IBGE se tornou responsável pelo processamento GNSS de parte das estações pertencentes à rede SIRGAS-CON (~130 estações), tendo como finalidade determinar semanalmente as coordenadas dessas estações, e enviá-las aos Centros de Combinações, responsáveis pela combinação e análise das soluções semanais de todos os centros de processamentos SIRGAS.

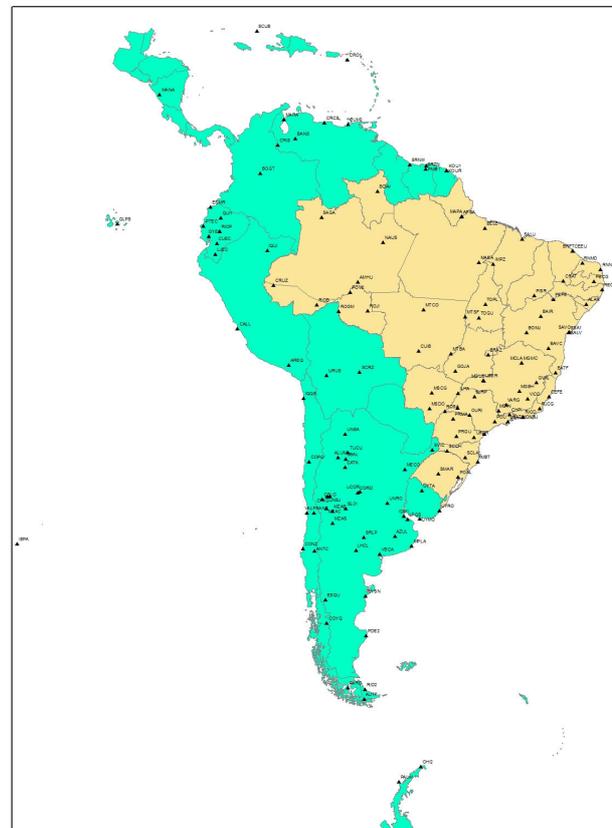


Figura 2 – Rede SIRGAS-CON processada pelo IBGE.

O software de processamento GNSS utilizado pelo IBGE para a realização das atividades do Centro de Processamento SIRGAS é o Bernese 5.0, desenvolvido pela Universidade de Berne na Suíça (Hugentobler U. et al., 2006). Considerado um dos melhores softwares científicos de processamento de dados GNSS, o Bernese gera soluções de alta confiabilidade para os mais diversos tipos de usuários, sendo amplamente utilizado pelos grandes centros de processamento e análises do IGS (International GNSS Service for Geodynamics). Dentre os

diferentes tipos de produtos gerados, destacam-se o cálculo de órbitas, parâmetros de rotação terrestre, processamento de longas linhas de base (acima de 1000 km). Além disso, pode ser utilizado de forma automática através do módulo BPE.

A Figura 2 apresenta a distribuição das estações GNSS SIRGAS-CON processadas pelo IBGE até março de 2010. Muitas dessas estações possuem resultados do processamento desde janeiro de 2003.

3 VELOCIDADE DAS ESTAÇÕES SIRGAS-CON

A tarefa rotineira do processamento dos dados da rede SIRGAS-CON, implica na determinação das coordenadas das estações, semana a semana, observando-se assim a mudança gradual das coordenadas através do tempo representado pelas séries temporais das coordenadas, e a partir delas são calculadas as velocidades de cada estação. Com essas informações, é possível detectar problemas físicos ou estruturais da estação, avaliar a geodinâmica local, determinar a velocidade das estações devido ao deslocamento das placas litosféricas e fenômenos naturais como, por exemplo, terremotos.

As Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento temporal das estações RECF e RIOD respectivamente. Os gráficos apresentam as diferenças de coordenadas determinadas semanalmente para as componentes Norte, Leste e Altura processadas desde janeiro de 2003 (semana GPS 1199). Os gráficos mostram um comportamento semelhante para as componentes planimétricas, caracterizado por um deslocamento de aproximadamente 1,2 cm/ano na direção norte, e 0,2 cm/ano na direção oeste, característica notada em praticamente todas as estações brasileiras, visto estas estarem localizadas em uma região estável da placa Sul-Americana, onde os movimentos devido à tectônica das placas são bastante homogêneos.

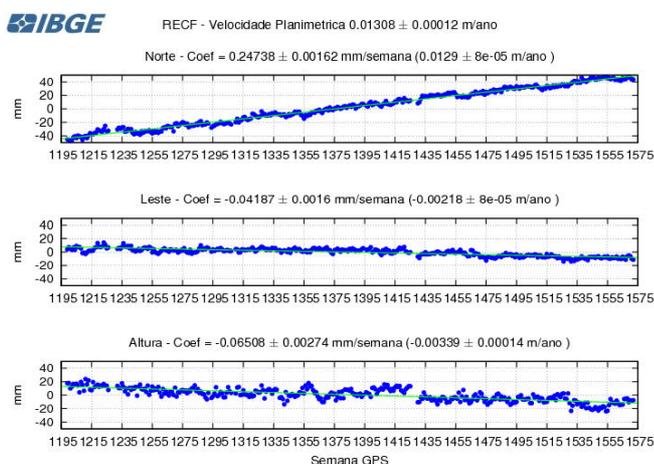


Figura 3 – Série temporal estação RECF - Recife.

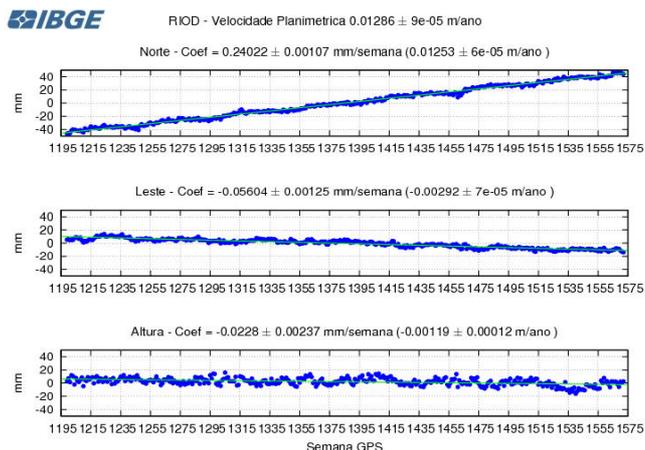


Figura 4 – Série temporal estação RIOD – Rio de Janeiro.

Entretanto, em algumas estações localizadas próximo ao encontro entre duas placas litosféricas apresentam um comportamento temporal bem diferente daqueles apresentados para as estações brasileiras. Estações localizadas próximo à fronteira entre a Placa de Nazca e Placa Sul-Americana, caso das estações situadas nos Andes, apresentam módulos e direções para as componentes norte e leste bem variáveis. A Figura 5 apresenta o comportamento temporal da estação CONZ (Concepción - Chile) determinado até 26 de fevereiro de 2010, ou seja, um dia antes de acontecer o sismo tema principal deste trabalho. A estação se desloca a uma velocidade de aproximadamente 1,9 cm/ano na direção norte, e 3,3 cm/ano na direção leste. Outras estações como SANT (Santiago), VALP (Valparaíso), IQQE (Iquique) e COPO (Copiapo) todas no Chile, apresentam comportamento semelhante à estação CONZ.

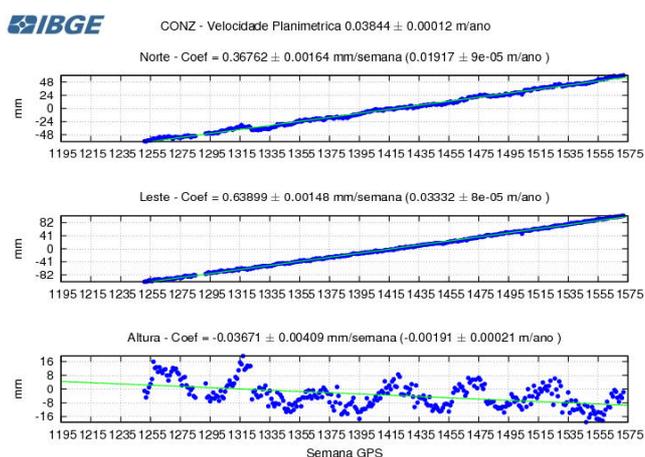


Figura 5 – Série temporal estação GPS CONZ (26/02/2010).

A Figura 6 apresenta os vetores de velocidade para todas as estações processadas pelo Centro de Processamento SIRGAS – IBGE.

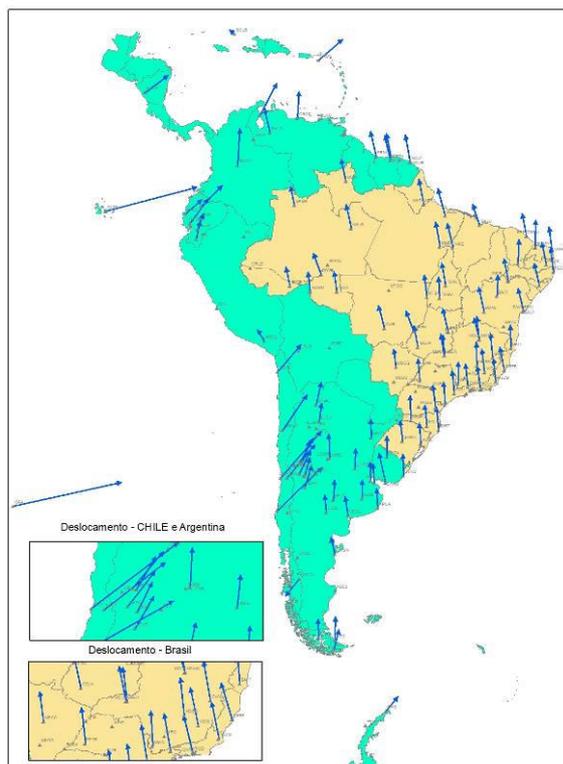


Figura 6 – Velocidade das estações SIRGAS-CON.

4 DESLOCAMENTO DAS ESTAÇÕES SIRGAS-CON APÓS O TERREMOTO DE 27/02/2010 NO CHILE

O sismo de 8,8 graus de magnitude ocorrido no sábado, 27 de fevereiro de 2010 às 06:34 (UTC) no Chile foi um dos maiores já registrados em toda a história. O tremor durou cerca de 3 minutos e seu epicentro ocorreu ao longo da costa da Região de Maule a 115 km da cidade de Concepción, segunda maior do Chile, a uma profundidade aproximada de 35 km. A Figura 7 apresenta a localização do tremor, assim como as estações da Rede SIRGAS-CON mais afetadas pelo sismo.

Devido à sua grande intensidade, baixa profundidade e proximidade ao continente, os efeitos desse tremor na superfície terrestre foram sentidos em várias partes do continente Sul-americano, principalmente nas proximidades do sismo, conforme foi constatado nos resultados do processamento semanal do Centro de Processamento SIRGAS – IBGE. Segundo os resultados, a estação CONZ (Concepción – Chile) sofreu um deslocamento planimétrico de aproximadamente 3 metros, SANT (Santiago – Chile) de 28,4 cm, MZAS (Mendoza – Argentina) de 20,5 cm, e até mesmo estações argentinas localizadas próximas ao Atlântico como é o caso de VBCA (Bahia Blanca) distante mais de 1000 km do epicentro do terremoto sofreu um deslocamento de aproximadamente 3,6 cm. A Tabela 1 apresenta os

resultados de todos os deslocamentos horizontais (ou planimétricos) maiores que 3 centímetros determinados pelo IBGE em função do sismo ocorrido no Chile em 27/02/2010, e as distâncias aproximadas da estação para o epicentro do terremoto. Esses resultados foram obtidos através da determinação das diferenças das coordenadas determinadas, antes e após a ocorrência do sismo. Os vetores de deslocamento calculados em função do terremoto para todas as estações processadas pelo Centro de Processamento SIRGAS – IBGE são apresentadas na Figura 8. Como podem ser verificados na figura, os deslocamentos nas estações brasileiras foram muito pequenos variando entre 0,5 e 1,5 cm, não sendo possível, a relação dessas diferenças com o evento sísmológico ocorrido no Chile, estando estas diferenças dentro da precisão das coordenadas determinadas no processamento.

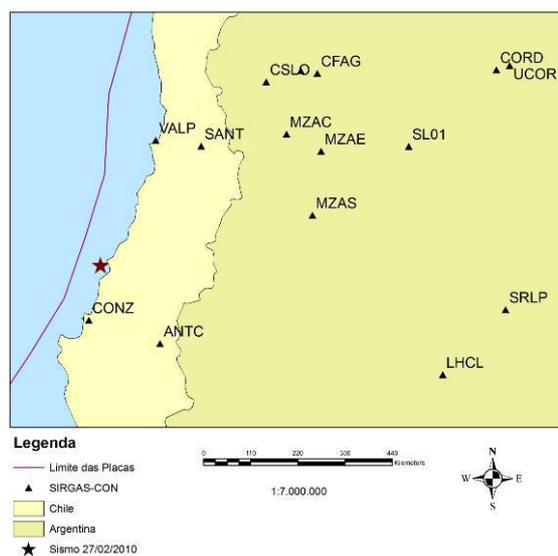


Figura 7 – Localização do sismo ocorrido em 27/02/2010.

Tabela 1 – Deslocamento das estações após o terremoto

Estação	Local	Dist. ~ (km)	Desloc. (cm)
CONZ	Concepción – Chile	115	297,8
SANT	Santiago – Chile	325	28,4
MZAS	San Rafael – Arg.	415	20,5
MZAC	Mendoza – Arg.	460	11,6
MZAE	Santa Rosa – Arg.	490	11,0
VALP	Valparaiso – Chile	290	7,7
LHCL	Lihuel Calel – Arg.	700	7,4
SL01	La Punta – Arg.	650	6,7
SRLP	Santa Rosa – Arg.	780	6,2
CSLO	Leoncito – Arg.	520	4,4
CFAG	Caucete – Arg.	610	4,0
VBCA	Bahia Blanca – Arg.	1000	3,6
UNSJ	Salta – Arg.	600	3,3

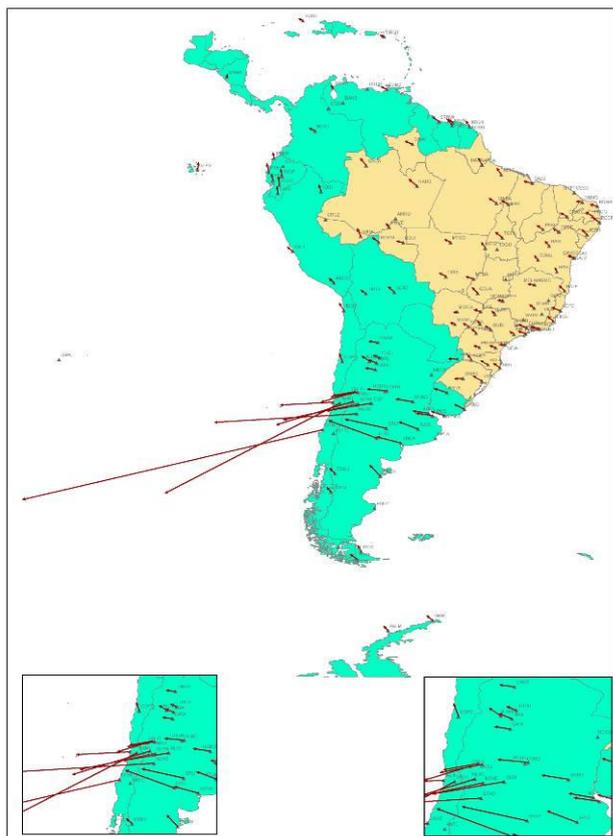


Figura 8 – Deslocamento das estações SIRGAS-CON devido ao terremoto de 27/02/2010 no Chile.

5 CONCLUSÕES

O Centro de Processamento SIRGAS – IBGE vem desde agosto de 2008, processando oficialmente dados das estações GNSS pertencente à Rede de Estações Contínua SIRGAS-CON. Entretanto, desde janeiro de 2003 os dados dessa rede são processados pelo IBGE. Esse processamento consiste na determinação de coordenadas diárias, combinadas semanalmente e enviadas para o Centro de Combinação para serem combinadas com os resultados dos outros centros de processamento.

O processamento diário das estações SIRGAS-CON, permite entre outras coisas, a verificação de deslocamentos das estações em função do movimento das placas litosféricas, de abalos sísmicos, recalque estrutural de edificações onde se localizam as estações e subsidência de solo.

Às 06:34 (UTC) do dia 27 de fevereiro de 2010, ocorreu um dos maiores terremotos já registrados em todos os tempos. Com epicentro na costa de Maule, distante cerca de 155 km de Concepción, segunda maior cidade do Chile, o terremoto de 8,8 graus de magnitude durou cerca de 3 minutos e foi sentido em diversos lugares da América do Sul, inclusive em São Paulo, distante quase três mil km de distancia.

Após o processamento da semana GPS 1572 (21 a 27 de fevereiro de 2010), foi possível verificar a partir dos resultados do Centro de Processamento SIRGAS – IBGE os efeitos do terremoto na superfície terrestre, principalmente nas estações pertencentes à rede SIRGAS-CON localizadas no sul da América do Sul. De acordo com os resultados, foi verificado que a estação CONZ (Concepción – Chile) deslocou quase 3 metros após o principal tremor. Isso quer dizer que as coordenadas geocêntricas dessa estação (latitude e longitude) alteraram cerca de 3 metros. Outras estações localizadas no Chile e na Argentina sofreram deslocamentos que variaram de poucos centímetros a até quase 30 cm. Até a estação de VBCA (Bahia Blanca) distante cerca de 1000 km do epicentro sofreu um deslocamento de aproximadamente 3,6 cm.

Com a continuidade do processamento da rede SIRGAS-CON, novos deslocamentos podem ser verificados em virtude dos vários outros tremores (réplicas) que sucederam o sismo principal, assim como ocorrências de deslocamentos verticais.

Podemos concluir que o Centro de Processamento SIRGAS – IBGE vem atendendo aos seus objetivos que é determinar coordenadas precisas de forma sistemática da rede SIRGAS-CON, apoiando o Sistema Geocêntrico para as Américas – SIRGAS na sua definição e manutenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a todos os engenheiros e técnicos da Coordenação de Geodésia, em especial ao Eng. Newton pelo suporte na compilação e execução do Bernese 5.0, assim como na avaliação dos deslocamentos com o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso).

REFERÊNCIAS

COSTA, S.M.A.; SILVA, A.L.; LAGO, G.N.: **Primeiro Ano de Atividades do Centro de Processamento SIRGAS – IBGE**, XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 2007.

HUGENTOBLE, U. et al.; **Bernese GPS Software Version 5.0**. Astronomical Institute University of Berne, Berne, 2006.

SILVA, A.L.; COSTA, S.M.A.; **Análises e Resultados do Centro de Processamento SIRGAS - IBGE**, II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2008.

SIRGAS, SIRGAS-CON, **A rede de estações contínuas do sistema SIRGAS** – www.sirgas.org (acessado em 25/03/2010).