

ANÁLISES E RESULTADOS DO CENTRO DE PROCESSAMENTO SIRGAS - IBGE

ALBERTO LUIS DA SILVA
SÔNIA MARIA ALVES COSTA

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

RESUMO - O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE tornou-se desde 2006 um dos Centros de Processamento Experimental da rede SIRGAS-CON. A Rede SIRGAS-CON é uma rede de operação contínua de receptores GNSS do SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), ou seja é a atual densificação do ITRF na América do Sul, Central e Caribe. A criação de 5 Centros Experimentais de Processamento da Rede SIRGAS-CON foi com o objetivo de colaborar no futuro com o *IGS Regional Network Associate Analysis Center (RNAAC) SIR (South America)*, centro de análise oficial do *International GNSS Service (IGS)* para a densificação na América do Sul, Central e Caribe. Esse artigo apresenta o status atual e os esforços realizados pelo IBGE, como um Centro de Processamento Experimental para o SIRGAS. Quando as atividades de centro de processamento foram iniciadas, em 2005, 30 estações eram processadas. A perspectiva é que para o final de 2008 sejam processadas aproximadamente 90 estações, incluindo as novas estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS). Neste artigo também é apresentada a estratégia de processamento usando o software Bernese, assim como as informações relevantes para o desenvolvimento das atividades. Os Resultados são avaliados e comparados com as soluções fornecidas por outras instituições (DGFI, IGG-CIMA e IGS) e possíveis discrepâncias são analisadas. Algumas informações referentes à manutenção da RBMC são mostradas nas séries temporais das coordenadas das suas estações, como por exemplo, a descontinuidade devido à mudança das antenas.

ABSTRACT – IBGE – Brazilian Institute of Geography and Statistics - has been a Pilot Processing Center for the SIRGAS (South American Geocentric Reference System) permanent GNSS network since 2005. The idea in the future is to collaborate with the IGS Regional Network Associate Analysis Center (RNAAC) SIR (South America), the official IGS (*International GNSS Service*) analysis center for the densification of South, Central America and Caribbean Region. We present the current status and efforts of IBGE as a Processing Center for SIRGAS. In the beginning, 30 stations were processed and the perspective for 2008 is to increase this number to 90 by including the new RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GPS) stations. The processing strategy applied using the Bernese GPS Software is presented as well as relevant information for the development of activities. Results are evaluated and compared to solutions provided by other institutions (DGFI, CPLAT and IGS) and possible discrepancies are analyzed. Some important issues related to the maintenance of the national permanent GPS networks are shown in the time series (e.g. discontinuities due to antenna changes).

1 INTRODUÇÃO

Desde 2005, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS tornou-se oficialmente o novo sistema de referência geodésico para o Brasil (R.PR-1/2005), na sua realização 2000. Por se tratar de um sistema de referência preciso e com origem no centro de massa da Terra, a componente temporal passou a ser um fator importante na manutenção desse sistema, assim como, a variação na posição de cada uma das estações que compõem a sua materialização.

Define-se por redes ativas GNSS, o conjunto de estações geodésicas estabelecidas em locais estáveis da superfície terrestre ou litosfera, materializadas por uma estrutura rígida, nas quais são instalados receptores GNSS de dupla-freqüência, os quais coletam dados continuamente. 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 é materializado por uma rede denominada SIRGAS-CON, rede de estações GNSS de operação contínua (www.sirgas.org), distribuídas na América do Sul, Central e Caribe, conforme apresentada na Figura 1.

Em dezembro de 2004 na cidade de Aguascalientes no México, durante a reunião do Projeto SIRGAS foi proposto o estabelecimento de centros de processamento das estações de operação contínua GNSS localizadas nas Américas do Sul e Central. Neste encontro três centros de processamentos foram identificados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE no Brasil, Universidade Nacional de La Plata - UNLP na Argentina e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática – INEGI no México (SIRGAS, 2005). Todos estes centros teriam como objetivo realizar a mesma tarefa que era realizada desde 1996 pelo *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI), instituto alemão responsável pelo processamento da rede regional IGS (*International GNSS Service*) das Américas do Sul, Central e Caribe. Em uma reunião do Grupo de Trabalho I - GT I (Sistema de Referência) ocorrida no Rio de Janeiro em agosto de 2006 foram identificados mais dois centros de processamento, sendo eles: o Instituto Geográfico Militar da Argentina – IGM e Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC na Colômbia (SIRGAS, 2006). Nesta mesma reunião, foi estabelecido que cada centro de processamento seguisse os mesmos padrões adotados pelo IGS no processamento dos dados GNSS e que os resultados fossem disponibilizados três semanas após a data da observação no servidor de ftp do DGFI. Na segunda reunião do GT I, realizada em maio de 2008, os resultados dos cinco centros de processamento experimental foram apresentados. Nesse encontro ficou estabelecido que o IBGE, IGAC e IGG-CIMA (*Instituto de Geodesia y Geodinámica, Centro de Ingeniería Mendoza Argentina*), identificado anteriormente neste artigo por UNLP, passariam a ser centros de processamento oficiais da rede SIRGAS-CON, devido à boa pontualidade e qualidade dos resultados apresentados.

Com a finalidade de prover a manutenção do SIRGAS, processamentos contínuos das estações da Rede SIRGAS-CON são realizados pelos centros de processamento sul-americanos, com o objetivo principal de monitorar a variação temporal das coordenadas dessas estações, assim como, a qualidade dos dados disponibilizados para a densificação dessa rede. Além disso, outros produtos derivados do processamento dos dados GNSS podem ser gerados; tais como: arquivos de velocidade, ionosfera, troposfera, entre outros, os quais podem ser disponibilizados para que sejam utilizados por usuários GNSS.

Desde 2005 o IBGE vem processando através de seu centro de processamento, os dados das estações pertencentes à rede SIRGAS-CON, determinando

resultados diários e semanais (COSTA et al., 2007). Além disso, também é realizado pelo centro de processamento, um controle de qualidade para as estações pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC).

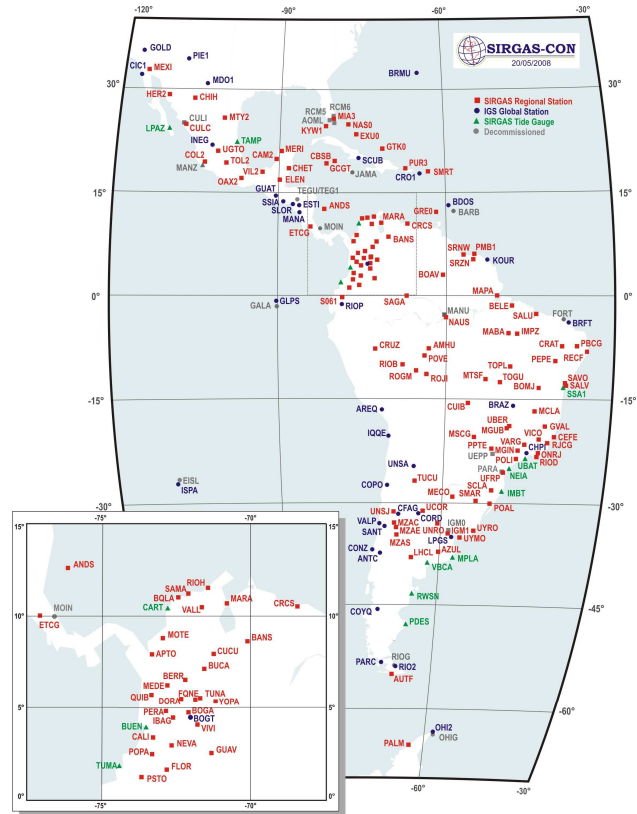


Figura 1 – Rede SIRGAS-CON (20/05/2008) – www.sirgas.org.

2 ESTAÇÕES DA REDE SIRGAS-CON PROCESSADAS PELO IBGE

O centro de processamento SIRGAS – IBGE apesar de ter iniciado suas atividades em 2005, tem resultados do processamento dos dados GNSS coletados desde janeiro de 2003 (semana GPS 1199). Desde esta data até os dias atuais, várias estações contínuas localizadas na América do Sul já foram desativadas, modificadas ou criadas. Alguns fenômenos naturais como terremotos, descargas elétricas, assim como problemas com o equipamento, contribuíram para que essas estações não permanecessem no processamento ao longo do tempo. Estações localizadas nas regiões andinas como Bogotá – BOGT, Arequipa – AREQ, são frequentemente afetadas por terremotos, ocasionando em muitos casos, a desativação da estação (Seemüller et al., 2008). Tem-se observado que na região Amazônica, algumas estações sofrem com descargas elétricas, danificando o receptor e a antena.

- Coordenadas diárias para cada uma das estações;
- Coordenadas semanais para cada uma das estações;
- Arquivos de equações normais (diários e semanais);
- Gráficos do comportamento temporal de cada uma das estações processadas;
- Comparação dos resultados com os centros de processamento IGG-CIMA e DGFI;
- Determinação da velocidade para cada estação processada.

O comportamento temporal de cada estação representada pelas coordenadas determinadas semanalmente pode detectar se houve alterações na estrutura da estação, abalos gerados por terremotos, além do próprio comportamento devido ao movimento das placas litosféricas. As Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento temporal das estações RECF e SALV respectivamente. A partir delas percebe-se um comportamento semelhante para as três componentes (N, E, H). Observa-se que esse comportamento semelhante é caracterizado principalmente pelas duas estarem na mesma, região da placa sul-americana e relativamente próximas uma da outra.

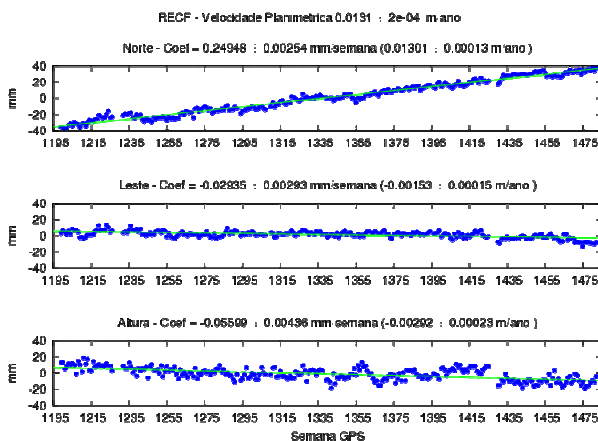


Figura 3 – Comportamento temporal da estação RECF.

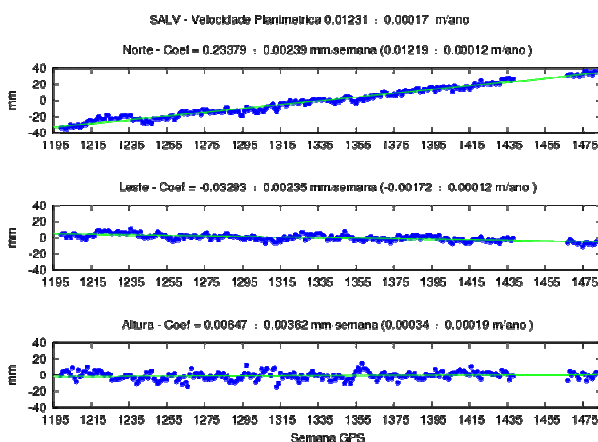


Figura 4 – Comportamento temporal da estação SALV.

Já para outras estações da rede SIRGAS-CON, o comportamento temporal difere um pouco daquele

apresentado nas figuras 3 e 4. Exemplos disso são as estações localizadas nas Cordilheiras dos Andes (SANT em Santiago e CONZ em Concepción, ambas no Chile), onde a componente leste se desloca de forma positiva com muito mais intensidade do que a apresentada nas estações brasileiras. Isso se deve principalmente ao encontro das placas litosféricas Nasca e Sul-americana nessa região. Uma outra estação que apresenta um comportamento temporal muito interessante é a estação NAUS localizada na cidade de Manaus. Ela apresenta um comportamento para a componente planimétrica semelhante às demais localizadas no Brasil, entretanto a sua componente altimétrica apresenta uma variação sazonal muito bem definida e amplitude muito maior quando comparada às demais, conforme apresentado na Figura 5. Essa sazonalidade bem definida pode estar associada às épocas de cheia e de vazante do rio Amazonas, que para Manaus ocorre respectivamente em junho e dezembro de cada ano, segundo o Boletim nº 1 de 2007 - Monitoramento Hidrológico do CPRM. Estudos semelhantes podem ser encontrados em BEVIS et al.; 2005.

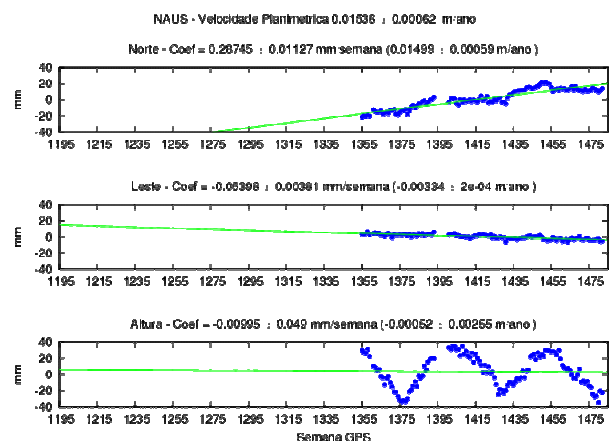


Figura 5 – Comportamento temporal da estação NAUS.

Como forma de avaliar os resultados gerados pelo IBGE, as soluções semanais são comparadas com as soluções semanais geradas pelos outros centros de processamento. A Figura 6 apresenta o RMS (erro médio quadrático) encontrado quando se compara as soluções IBG gerada pelo IBGE com as soluções determinadas pelo DGFI (DGF), entre as semanas GPS 1395 e 1465. Essa comparação é realizada através dos arquivos de coordenadas semanais determinados por cada um dos centros de processamento. Os resultados encontrados em ambos os centros estão em conformidade ao nível do milímetro. Além disso, observa-se que o RMS na comparação das coordenadas planimétricas varia entre 2 a 3 mm, enquanto para as coordenadas altimétricas o RMS é maior, variando entre 4 a 5 mm, o que é comum quando se trata de posicionamento por satélites.

Um outro resultado gerado através do processamento contínuo das estações é a velocidade com que cada estação se move ao longo do tempo. Essa velocidade está associada principalmente à tectônica das

placas, ou de forma menos significativa por movimentos dentro de uma mesma placa. A metodologia aplicada na determinação da velocidade planimétrica de cada estação, baseia-se na condição de linearidade do movimento das placas. Essa condição também é utilizada em modelos geofísicos de movimento de placas, como por exemplo o modelo NNR-NUVEL 1A (Demelts et al., 1990), (Demelts et al, 1994), o qual é baseado apenas em informações geológicas e fundamentado na teoria da tectônica de placas, a qual considera a variação de coordenadas com o tempo de forma linear (Drewes, 1982).

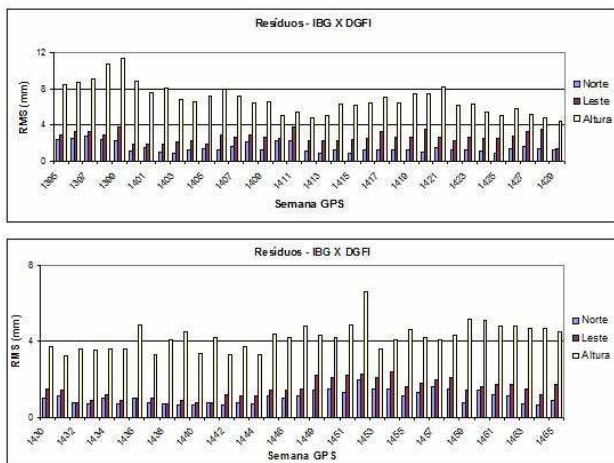


Figura 6 – Comparação dos resultados determinados pelo IBGE e DGFI.

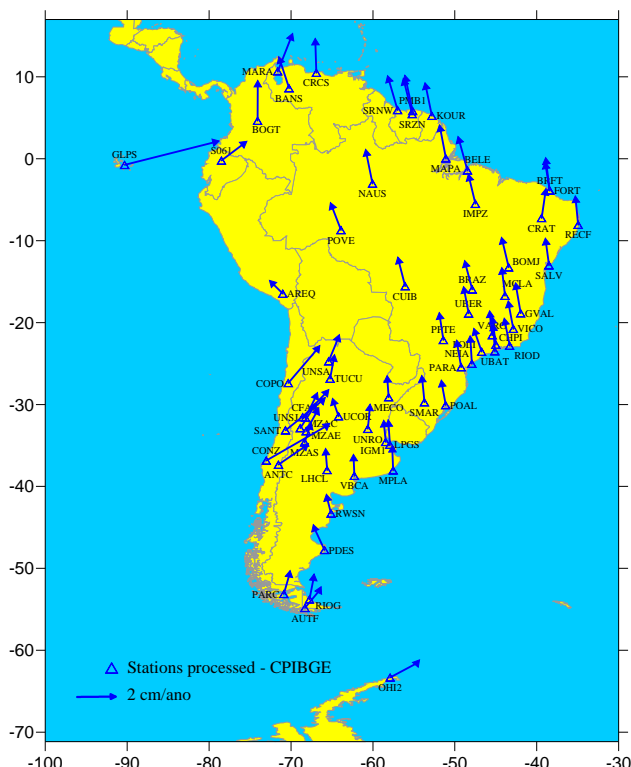


Figura 7 – Velocidade das estações determinadas pelo IBGE.

A Figura 7 apresenta o módulo e a direção do comportamento temporal das estações processadas pelo IBGE com pelo menos 1 ano de dados. Já a Tabela 2 apresenta os valores das velocidades planimétrica, e suas componentes norte e leste para cada estação brasileira onde se determinou velocidades.

Conforme mostrado na Figura 7 e Tabela 2, as estações localizadas no Brasil apresentam comportamento semelhante quanto ao módulo e direção dos vetores velocidades, variando entre 1,2 e 1,6 cm ao ano. Esse comportamento homogêneo e suave é decorrente da boa localização do território brasileiro sobre a placa litosférica sul-americana, que para essa região também apresenta um comportamento estável. Apenas a estação CRAT localizada em Crato no Ceará, apresenta um vetor velocidade diferente em termos de direção. Esse comportamento pode estar relacionado às atividades sísmicas que ocorrem freqüentemente na região. Este fato deverá ser investigado no futuro com maior rigor.

Tabela 2 – Velocidade das estações RBMC.

Estação	VNE	VN	VE
BELE	0.016	0.015	-0.004
BOMJ	0.014	0.013	-0.003
BRAZ	0.013	0.013	-0.003
BRFT	0.015	0.015	-0.001
CHPI	0.012	0.012	-0.001
CRAT	0.013	0.013	0.002
CUIB	0.013	0.013	-0.003
FORT	0.012	0.012	-0.002
GVAL	0.014	0.013	-0.002
IMPZ	0.013	0.013	-0.003
MAPA	0.015	0.015	-0.003
MCLA	0.012	0.012	-0.001
NAUS	0.016	0.015	-0.003
NEIA	0.012	0.012	-0.000
PARA	0.012	0.012	-0.002
POAL	0.011	0.011	-0.002
POLI	0.010	0.010	-0.003
POVE	0.013	0.012	-0.004
PPT	0.012	0.012	-0.001
RECF	0.013	0.013	-0.001
RIOD	0.012	0.012	-0.002
SALV	0.012	0.012	-0.001
SMAR	0.012	0.011	-0.001
UBAT	0.012	0.012	-0.000
UBER	0.012	0.012	-0.002
VARG	0.010	0.010	-0.001
VICO	0.012	0.012	-0.002

5 DIFICULDADES, INCONSISTÊNCIAS E RECOMENDAÇÕES

Desde o início das atividades do centro de processamento SIRGAS – IBGE em 2005 até os dias atuais, pode-se verificar algumas inconsistências encontradas após a análise dos resultados, assim como dificuldades durante o processamento das estações pertencentes à rede SIRGAS-CON. A seguir são apresentados alguns comentários com relação a essas dificuldades, e recomendações para as próximas

atividades relacionadas aos centros de processamento SIRGAS:

- Algumas informações referentes às estações como *domes number*, receptor e antena, não estão sendo utilizadas de forma única pelos centros de processamentos, havendo para uma mesma estação, diferentes equipamentos utilizados por diferentes centros. Torna-se necessário uma padronização das informações;
- Os dados de algumas estações ainda não estão disponíveis em ftp, dificultando o desenvolvimento de scripts para a sua transferência automatizada;

A troca dos equipamentos de uma estação pode gerar um salto no comportamento temporal da mesma, quando esta não estiver materializada de forma correta, ou quando as informações de altura e centro de fase da antena não estiverem bem definidos. A Figura 8 apresenta o comportamento temporal da estação POAL antes e após a troca da antena. Percebe-se que houve um salto na componente planimétrica entre abril (semana GPS 1425) e setembro (semana GPS 1443) de 2007. Nesse período houve uma troca de equipamento (receptor/antena) ocasionando o salto na série temporal das coordenadas. Isso foi comprovado quando a antena antiga foi recolocada após esse período, voltando ao comportamento anteriormente apresentado. Torna-se necessário definir uma metodologia adequada para a implantação de novas estações, assim como a troca de antenas e orientação da mesma para o norte verdadeiro.

6 CONCLUSÃO

O processamento contínuo das estações pertencentes à rede SIRGAS-CON, é extremamente importante para a manutenção do SIRGAS. É através desse processamento que se realiza um controle de qualidade sobre cada uma das estações que materializam esse sistema.

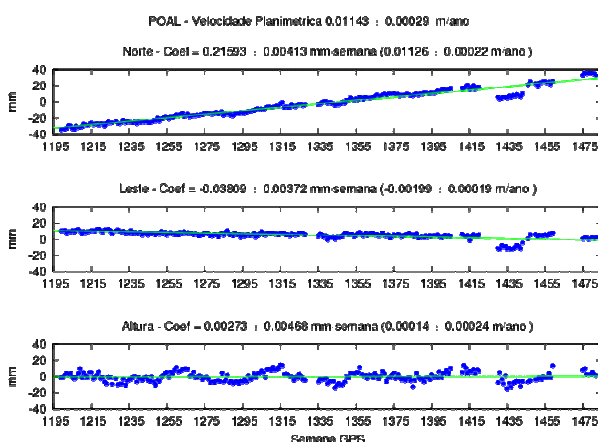


Figura 8 – Comportamento temporal da estação NAUS.

O centro de processamento SIRGAS – IBGE, desde 2005 vem trabalhando em caráter experimental,

cumprindo todos os requisitos exigidos pelo SIRGAS, com qualidade e compromisso nos resultados apresentados. Após o encontro do projeto SIRGAS em maio de 2008 na cidade de Montevidéu, ficou definido que o IBGE está apto para se tornar um centro de processamento oficial SIRGAS. A atuação dos centros de processamento e combinação de forma oficial, bem como, outras alterações que deverão ocorrer na configuração da Rede SIRGAS-CON serão inicializadas em 29 de agosto de 2008.

Os resultados determinados pelo centro de processamento SIRGAS – IBGE, ainda é uma primeira amostra do que pode ser estimado em termos de comportamento temporal das estações e conseqüentemente da placa sul-americana. Vários outros estudos serão realizados com o objetivo de monitorar as estações permanentes SIRGAS, garantindo a manutenção desse sistema. Por hora, podemos afirmar que os resultados encontrados pelo IBGE são precisos e que estão compatíveis com os resultados determinados pelos outros centros de processamento.

Apesar dos resultados encontrados para as velocidades das estações estarem de acordo com os valores determinados por outros estudos (PEREZ, 2002; COSTA, 2001) já realizados, torna-se necessário dispor de um período maior de observações GPS, ou seja, quanto mais longo for o período, mais confiáveis serão os resultados. Alguns pesquisadores consideram o período de 5 anos apropriado para iniciar estudos de Geodinâmica (COSTA, 1999). Com este propósito, pretendem-se dar continuidade ao processamento das observações da rede permanente SIRGAS e a avaliação das velocidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem ao projeto SIRGAS e ao IPGH – Instituto Pan-americano de Geografia e História pelo apoio, aos ex-estagiários Gabriel e Maíra, e aos atuais estagiários Guilherme e Jhones pelos serviços prestados no processamento das observações GPS, assim como na busca e controle de qualidade desses dados.

REFERÊNCIAS

- COSTA, S.M.A.. **Estimativa do Campo de Velocidade a partir das Estações da RBMC**, Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre, 2001.
- COSTA, S.M.A.. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres**, tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1999.
- COSTA, S.M.A. e FONSECA Júnior, E.S. **Results of SIRGAS 2000 GPS Network by IBGE Analysis Center**. Scientific Assembly of the International Association of Geodesy (IAG) - Budapeste, Hungria, 2001.

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.

CPRM: Monitoramento Hidrológico, Boletim nº 1 – 06/02/2007, (Disponível em <http://www.cprm.gov.br/>).

DEMELTS, C. et al.. **Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions**. Geophysical Research Letters, vol. 21, nº 20, pp. 2191-2194, 1994.

DGFI, <ftp://ftp.dgfi.badw-muenchen.de/pub/gps/DGF/station/log/> (acessado em 26/06/2008);

DREWES, H.. **A Geodetic Approach for the Recovery of Global Kinematic Plate Parameters**, Bulletin Geodesique, nº56, pp. 70-79, 1982.

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

IBGE, R. PR – 1/2005, **Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2005** – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro – www.ibge.gov.br (acessado em 26/06/2008).

IGS, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> (acessado em 26/06/2008);

IGS, <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/station/log/> (acessado em 26/06/2008);

PEREZ, J.A.S.. **Campo de Velocidade para as Estações da RBMC e do IGS Localizadas na Placa Sul-Americana: Estimativa A partir do Processamento de Dados GPS**. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente, SP, 2002.

SEEMÜLLER, W.; MANUELA, K.; SÁNCHEZ, L.; DREWES, H.: **The Position and Velocity Solution DGF08P01 of IGS Regional Network Associate Analysis Centre SIRGAS (IGS RNAAC SIR)**, DGFI Report Nº 79, München, Germany, 2008 (Disponível em <ftp://dgfi.badw-muenchen.de/pub/gps/dgf>).

SIRGAS, BOLETIM Nº 8, Fevereiro de 2005 – www.sirgas.org (acessado em 26/06/2008).

SIRGAS, BOLETIM Nº 10, Outubro de 2006 – www.sirgas.org (acessado em 26/06/2008).

SIRGAS, SIRGAS-CON, **A rede de estações contínuas do sistema SIRGAS** – www.sirgas.org (acessado em 26/06/2008).