

Atualização de Bases cartográficas para Projetos de Engenharia

Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem ¹

Anderson Schmitt ²

Yuzi Anai Zanardo Rosenfeldt ³

^{1,2} UFSC - Graduação em Engenharia Civil

88040-970 Florianópolis SC

anderson_schmitt@yahoo.com.br

gabrielrosolem@grad.ufsc.br

³UFSC – Pós Graduação em Engenharia Civil

88040-970 Florianópolis SC

arquitetayuzi@yahoo.com.br

Resumo: A adoção de um novo Sistema Geodésico de Referência no Brasil, SIRGAS2000, vem atender as novas necessidades de posicionamentos precisos, compatibilizar o Sistema Geodésico Brasileiro às recentes tecnologias, como o GPS, bem como unificar todas as Américas em um único *Data*. Atualmente, o país encontra-se em um período de transição que serve para ajustar as bases cartográficas e informações geográficas contidas em SAD69 para SIRGAS2000. O artigo descreve os procedimentos de transformação das coordenadas utilizando o software ProGrid do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, aplicadas no projeto desenvolvido pelo Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento à atualização da base cartográfica dos municípios do litoral catarinense. Concluiu-se que é de extrema importância a utilização de uma base cartográfica atualizada, visto que há um deslocamento nas coordenadas de um mesmo ponto terrestre entre os dois *Data*, o que proporciona um grande erro e consequentemente maiores custos as obras de engenharia.

Palavras chaves: Sistema Geodésico de Referência, SAD69, SIRGAS2000.

Abstract: The adoption of a new Geodetic Reference System in Brazil, SIRGAS2000, come meet the new requirements of accurate positioning, aligning the Brazilian Geodetic System to recent technologies, such as GPS, and unify the Americas into a single Data. Currently, the country is in a transitional period which serves to adjust the cartographic bases and geographic information contained in SAD69 to SIRGAS2000. This paper describes the procedures for using coordinate transformation software ProGrid of the Brazilian Institute of Geography and Statistics, applied in a project developed by the Laboratory of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoprocessing to update the cartographic bases of Santa Catarina coast's municipalities. It was concluded that it is extremely important to use a cartographic basis updated, since there is a dislocation to coordinates of one terrestrial point between those two Data, which provides a large error, and consequently increases costs in engineering works.

Keywords: Geodetic Reference System, SAD69, SIRGAS2000

1. Introdução

Na Conferência Internacional para Definição de um *Datum* Geocêntrico para a América do Sul, realizada em 1993, foi proposto um projeto para unificar o continente sul americano, que posteriormente englobaria as Américas, em único sistema de referência geocêntrico, denominado SIRGAS.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) seria o responsável pela proposta de mudança do referencial geodésico no país, que até então era o SAD69. Aprovada a mudança do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) para SIRGAS2000, estabeleceu-se que a adequação do *Data* será até 2015, a partir deste ano não será permitido o uso de outros *Datas* como, Córrego Alegre, Sistema Astro *Datum* Chuá, SAD69/96.

Atualmente existem dois SGB em uso no país, o SIRGAS2000 e o SAD69/96, sendo o primeiro um sistema geocêntrico e o segundo topocêntrico o que será tratado a seguir. Por terem concepções diferentes não é possível compatibilizar as informações entre os dois *Datas*, havendo deslocamento espacial para as coordenadas de um mesmo ponto terrestre nos sistemas.

Comparado ao antigo sistema, o SIRGAS2000 trouxe uma precisão muito maior na representação da superfície terrestre, fato que fica evidente no deslocamento durante a transformação entre as coordenadas.

Apresentar-se-ão neste artigo os fundamentos teóricos e técnicos que diferenciam os dois *Data*, bem como as implicações da atualização de um sistema para outro, os métodos e procedimentos de transformação da base cartográfica e seus resultados.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Sistema de Coordenadas Geodésicas

A palavra Geodésia, sucintamente, significa “Ato de Dividir a Terra” ou “Divisões de Terra”. Segundo a definição clássica de Helmert, a Geodésia é um ramo da geociência, que trata do levantamento e representação da forma e superfície terrestre. [HELMERT, F.R, 1884]

Para representar ou projetar superfícies sobre um plano, é necessário um sistema de coordenadas que garanta concordância com as coordenadas na superfície física da Terra. Partindo desta necessidade, são adotados sistemas de coordenadas esféricos associados a um sólido geométrico de dimensões e forma similar a Terra, um elipsoide. [Fernandes, V. de O, 2009]

As coordenadas adotadas são curvilíneas, latitude e longitude, e expressas em unidades angulares (graus, minutos e segundos). A latitude é o ângulo entre o plano equatorial e a normal ao plano tangente que contém o ponto sobre o elipsoide, sendo negativo ao sul do equador e positivo ao norte. A longitude é o ângulo entre o plano do meridiano adotado como zero (Greenwich) e o meridiano que contém o ponto requerido, adotando-se negativo o ângulo a oeste e positivo a leste. A altitude é fornecida, através de um sistema geodésico cartesiano com origem no centro geométrico do elipsoide e orientado para o norte. [Fernandes, V. de O, 2009]

2.2. Sistemas Geodésicos de Referência

Os Sistemas Geodésicos de Referencia (SGR) tem como objetivo referenciar pontos à superfície da Terra. Estes sistemas são definidos pelos órgãos ou instituições responsáveis pela cartografia em cada país. Um SGR pode ter concepção global (Sistema Geocêntrico), quando o sistema geodésico cartesiano possui origem no centro geométrico do elipsoide e o mesmo coincide com o centro de massa da Terra, ou concepção regional (Sistema Topocêntrico), quando não coincide. [Fernandes, V. de O, 2009]

A implantação de um Sistema Geodésico de Referência Clássico, ou Topocêntrico, necessita dos parâmetros matemáticos, geométricos e físicos referentes ao sistema, além dos estudos realizados em pontos sobre a superfície terrestre que determinarão as principais características do elipsoide, os *datums*. Simplificadamente, os resultados são conjuntos de coordenadas com estimativas de erros que compõe a rede de referência [Fernandes, V. de O , 2009]. A definição do SGR Clássico implica que mesmo com parâmetros do elipsoide iguais, as orientações dos sistemas podem diferir por conta de diferentes *datums* e estimativas de erros.

Atualmente, os SGR modernos são geocêntricos. O grande desenvolvimento tecnológico possibilitou determinar os parâmetros para um posicionamento global, criando redes de referencias pelas coordenadas dos pontos terrestres obtidas por técnicas espaciais. [Fernandes, V. de O , 2009]. Um exemplo de SGR moderno é o SIRGAS 2000, que possui uma rede de referencia continental.

O Brasil convive com vários sistemas geodésicos de referencia como ,Córrego Alegre, Astro Datum Chuá, SAD69/96 e o sistema oficial, atualmente, SIRGAS2000. [GALDINO, C. A. P. M. 2006]. A existência de vários simultaneamente é problemática quando há a necessidade de comparar as coordenadas de diferentes SGR, áreas entre os limites de cada sistema, analisar cartografia de diferentes épocas, trabalhar com Sistema de Informações Geográficas com dados advindos de diferentes bases cartográficas, entre outros. [Fernandes, V. de O , 2009].

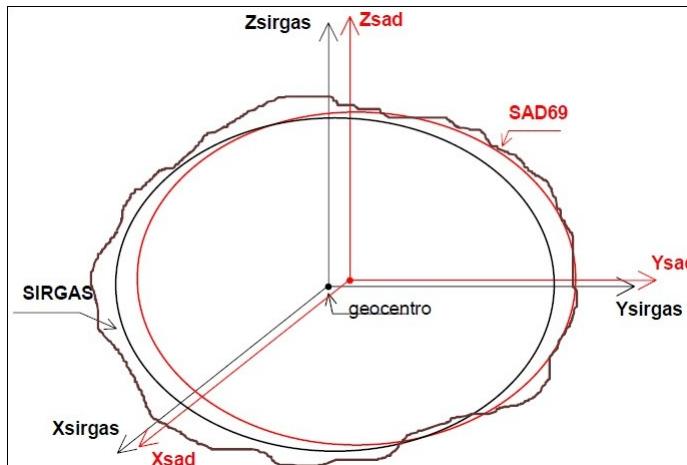


Figura 01 – Referenciais topocêntricos e geocêntricos (IBGE, 2012)

2.3. Sistema SAD 69

O *South American Datum of 1969* (SAD69), um sistema topocêntrico, é o resultado do propósito de um *Data* uniforme para a rede continental da América do Sul, para trabalhos de engenharia e cartográficos. O seu desenvolvimento teve inicio em 1944 e foi concluído em 1969. No Brasil, o SAD69 passou ser adotado como SGR oficial apenas em 1979. [Fernandes, V. de O , 2009]

O SAD69 foi concebido de forma a minimizar a diferença em relação ao geoide na América do Sul e que tivesse uma rede de referencia planimétrica continental. Em sua definição foi adotado o Elipsoide de Referencia Internacional de 1967 e como *datum* o ponto localizado em Chuá/MG. [Fernandes, V. de O , 2009]

Na década de 70, O IBGE iniciou o reajustamento da rede geodésica brasileira e em 1996 este trabalho foi concluído. Podem-se inferir alguns motivos: corrigir distorções causadas pelo método utilizado na concepção inicial, inserção de novos pontos de controle e melhorar a precisão com o emprego de novos métodos, como o GPS. Este reajuste ficou conhecido como SAD69/96. [Fernandes, V. de O, 2009]

Caracterização do SAD69:

- Sistema topocêntrico;
- Sistema Geodésico de Referencia: *Geodetic Reference System 1967 – GRS67*;
- Figura geométrica da Terra: Elipsoide de Referência Internacional de 1967;
- Semi-eixo maior: (a) = 6378160,0 m;
- Achatamento: 1/298,247167427 .

2.4 Sistema SIRGAS 2000

O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas trata-se de um projeto, denominado SIRGAS. Foi criado na Conferência Internacional para Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, desenvolvida pela Associação Internacional de Geodésia (IAG), do Instituto Pan-americano de Geografia e História (IPGH) e da Agência Cartográfica do Departamento de Defesa dos EUA, em 1993. Participaram da conferencia quase todos os países sul-americanos e as entidades patrocinadoras. Os objetivos eram definir um sistema de referência para a América do Sul, estabelecer e manter uma rede de referência e definir e estabelecer um *datum* geocêntrico. [OLIVEIRA, SILVA e CELESTINO, 2005]

Com o avanço das novas técnicas de posicionamento foi necessário criar um novo sistema de referencia com precisão compatível. O Sistema SIRGAS 2000, sistema geocêntrico, permite o uso direto da tecnologia de GPS ao contrário do sistema SAD 69 . A adoção desse novo sistema pela América Latina contribuiu para o fim de uma série de problemas originados na discrepância entre as coordenadas

geográficas apresentadas pelos sistemas antigos e o sistema GPS, além de unificar os países da América em um único sistema. Isso facilita a solução de problemas como a definição de fronteiras internacionais. [IBGE, 2010] [Fernandes, V. de O , 2009]

Caracterização do SIRGAS: [IBGE, Resolução 1/2005]

- Sistema geocêntrico ;
- Sistema Geodésico de Referência: *International Terrestrial Reference System*;
- Figura geométrica para a Terra: *Geodetic Reference System 1980 – GRS80*,
- Semi-eixo maior = 6.378.137 m ;
- Achatamento = 1/298,257222101 .

3. Resolução 1/2005 IBGE

Em 2005 o Brasil aderiu oficialmente ao sistema SIRGAS2000, através da Resolução N° 1/2005, assinada em 25/02/2005 pela Presidência do IBGE. IBGE (2005):

“A definição do sistema geodésico de referência acompanha, em cada fase da história, o estado da arte dos métodos e técnicas então disponíveis. Com o advento dos sistemas globais de navegação (i.e. posicionamento) por satélites (GNSS – Global Navigation Satellite Systems), tornou-se mandatória a adoção de um novo sistema de referência, geocêntrico, compatível com a precisão dos métodos de posicionamento correspondentes e também com os sistemas adotados no restante do globo terrestre. Com esta finalidade, fica estabelecido como novo sistema de referência geodésico para o SGB e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000).”

A resolução 1/2005 também fala sobre o período de mudança e adaptação para o novo SGR, o SIRGAS 2000 pode ser usado em conjunto com o SAD 69 e Córrego Alegre por um período de 10 anos. IBGE (2005):

“Para o SGB, o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com o sistema SAD 69. Para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN), o SIRGAS2000 também poderá ser utilizado em concomitância com os sistemas SAD 69 e Córrego Alegre, conforme os parâmetros definidos nesta Resolução. A coexistência entre estes sistemas tem por finalidade oferecer à sociedade um período de transição antes da adoção do SIRGAS2000 em caráter exclusivo. Neste período de transição, não superior a dez anos, os usuários deverão adequar e ajustar suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo sistema.”

4. Transformação entre o SAD 69 e o SIRGAS2000

O IBGE divulgou junto a Resolução 1/2005 os parâmetros estimados para as transformações das coordenadas do SAD69/96 e SIRGAS 2000. Estes parâmetros foram obtidos através das 63 estações geodésicas que compõe a rede GPS no Brasil, e que possuem as coordenadas SAD69 provenientes do reajuste de 1996 e as atuais coordenadas em SIRGAS 2000.[IBGE, 2012]. A tabela a seguir relaciona os parâmetros:

Tabela 01 – Parâmetros para a transformação das coordenadas

| Parâmetros | SAD69 para SIRGAS 2000 | SIRGAS 2000 para SAD69 |
|------------|------------------------|------------------------|
| a1 | 6.378.160 m | 6.378.137 m |
| f1 | 1/298,25 | 1/298,257222101 |
| a2 | 6.378.137 m | 6.378.160 m |
| f2 | 1/298,257222101 | 1/298,25 |
| ΔX | – 67,35 m | 67,35 m |
| ΔY | 3,88 m | – 3,88 m |
| ΔZ | – 38,22 m | 38,22 m |

Onde:

- a1, f1 = parâmetros geométricos do elipsóide do sistema de origem
- a2, f2 = parâmetros geométricos do elipsóide do sistema de destino
- $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ = parâmetros de transformação entre os sistemas.



FIGURA 3.2 – DESLOCAMENTO HORIZONTAL ENTRE O SIRGAS E O SAD69 - FONTE: (IBGE, 2000).

Figura 02 - Deslocamento Horizontal de SAD69 para SIRGAS2000 (IBGE, 2005)

4.2 Métodos de Transformação

Existem diferentes métodos para a transformação de sistemas geodésicos de referência, dos quais se podem citar dois: *Geocentric Translation* e o Progrid.

4.2.1 Geocentric Translation

O *Geocentric Translation* é um método que relaciona dois sistemas geodésicos por meio da transformação das coordenadas com os parâmetros de transformação ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) [Knippers, R.A., 2011]. É comumente utilizado em softwares SIG, no qual o usuário fornece os dados de entrada, SGR e a coordenada, e seleciona em qual sistema deseja obter a transformação. O resultado é gerado automaticamente.

4.2.2 ProGrid

O ProGrid é um software desenvolvido pelo IBGE, para a plataforma Windows, que transforma as coordenadas entre os referenciais SAD69, Córrego Alegre e Sirgas2000. O programa utiliza o formato NTV2, que trabalha com grids e que servem para modelar as transformações especificadas. [IBGE, 2012] O funcionamento baseia-se em fornecer a coordenada, o sistema a qual pertence e escolher o SGR que deseja obter a transformação.

O diferencial do ProGrid é a modelagem dos resíduos resultantes da falha de transformação de alguns parâmetros devido distorção da rede geodésica, possibilitando um trabalho mais preciso. [IBGE, 2012]

5 Estudo de Caso

O projeto Certificação Cadastral de Terras Públicas de Marinha desenvolvido pelo Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (LabFSG) da Universidade Federal de Santa

Catarina (UFSC) teve como uma das etapas a transformação dos mapas dos municípios do litoral catarinense para a Secretaria do Patrimônio da União (SPU). A metodologia foi desenvolvida inicialmente em Imbituba e aplicada aos demais municípios.

5.1 Resultado

A Secretaria do Patrimônio da União forneceu para a realização do trabalho os mapas dos municípios em arquivos vetoriais *dwg*, formato utilizados por softwares CAD, georeferenciados em SAD69 e utilizando o sistema de coordenadas *Universal Tranverse Mercator* (UTM)

Havia duas possibilidades para a transformação das coordenadas para SIRGAS 2000: *Geocentric Translation* e ProGrid. A decisão foi realizada com base em testes feitos utilizando ambas as ferramentas e comparando os resultados a pontos de controle distribuídos uniformemente na orla do município de Imbituba.

Constatou-se que o *Geocentric Translation*, que foi utilizado em software SIG, produziu um deslocamento no sentido norte. Sabe-se que a transformação de SAD69 para SIRGAS 2000 gera em média um deslocamento de 65 metros sentido nordeste [IBGE, 2012]. Optou-se então pelo ProGrid, pois este ofereceu uma precisão maior dos resultados, além de ser disponível gratuitamente pelo IBGE.

Os dados de entrada em SAD69 foram possíveis com a utilização de software CAD, no caso deste projeto foi utilizado o *AutoCAD* da empresa Autodesk, criando-se pontos e lendo suas respectivas coordenadas.

No ProGrid, na aba “Opções” superior, selecionou-se no campo “Referencial de Entrada” o referencial “SAD69 REDE CLÁSSICA” e o sistema de coordenadas “UTM E, N”, no campo “Referencial de Saída”, o referencial “SIRGAS2000” e o sistemas de coordenadas “UTM E, N”. Na aba inferior “Opções”, o tipo de entrada utilizado foi “Teclado”, formato de entrada “UTM E, N” e no botão “INSERIR”, digitou-se as coordenadas em SAD69. Esta ultima etapa é necessária para o software gerar um arquivo formato *txt*.



Figura 03 - Tela inicial do ProGrid. (LabFSG – UFSC)

Na aba “Processamento”, preencheu-se novamente os referenciais de entrada e saída, mas no campo tipo de entrada selecionou-se “Arquivo Texto”, o formato de entrada “Identificador do Ponto/Leste/Norte/Zone” e de saída “Tela”. Enfim, clica-se no botão “PROCESSAR”. As coordenadas transformadas foram exibidas em tela, como visto na figura XX.

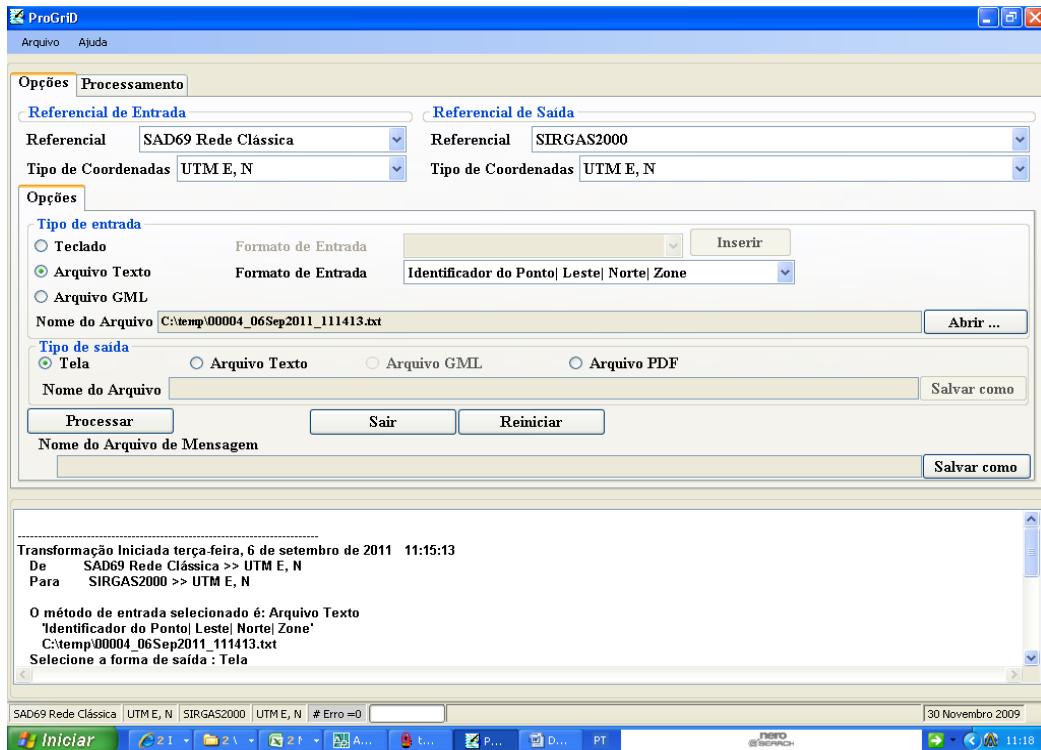


Figura 04 - Tela de Processamento utilizando o tipo de entrada arquivo texto. (LabFSG – UFSC)

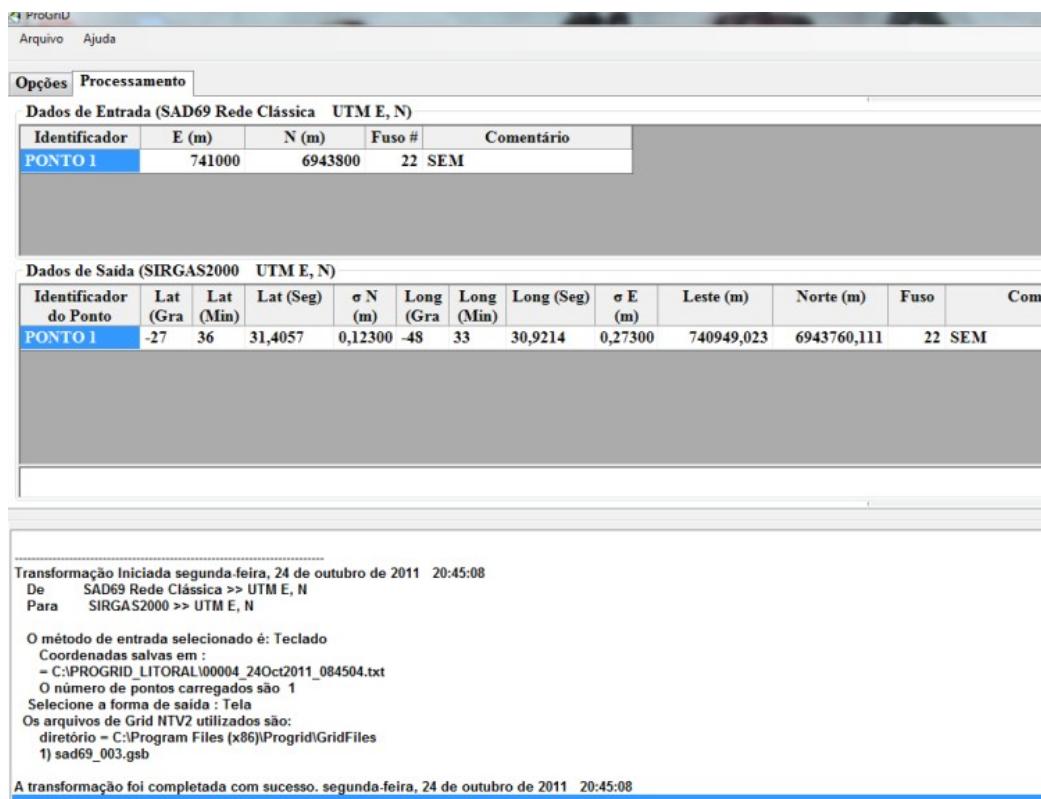


Figura 05 - Coordenada fornecida pelo ProGrid a partir dos dados de entrada. (LabFSG – UFSC)

Obtida a coordenada em SIRGAS2000, a próxima etapa foi inseri-la no software CAD através de um ponto. O mapa inteiro é deslocado utilizando-se como ponto base desse deslocamento o ponto lido em SAD69 e que foi usado para a transformação no ProGrid, até a sobreposição com o ponto inserido em SIRGAS2000. A figura 06 demonstra os pontos no vértice apenas para ilustrar de maneira didática o

procedimento, sugerindo-se o emprego de pontos do meio dos mapas, a fim de se distribuir melhor a distorção.

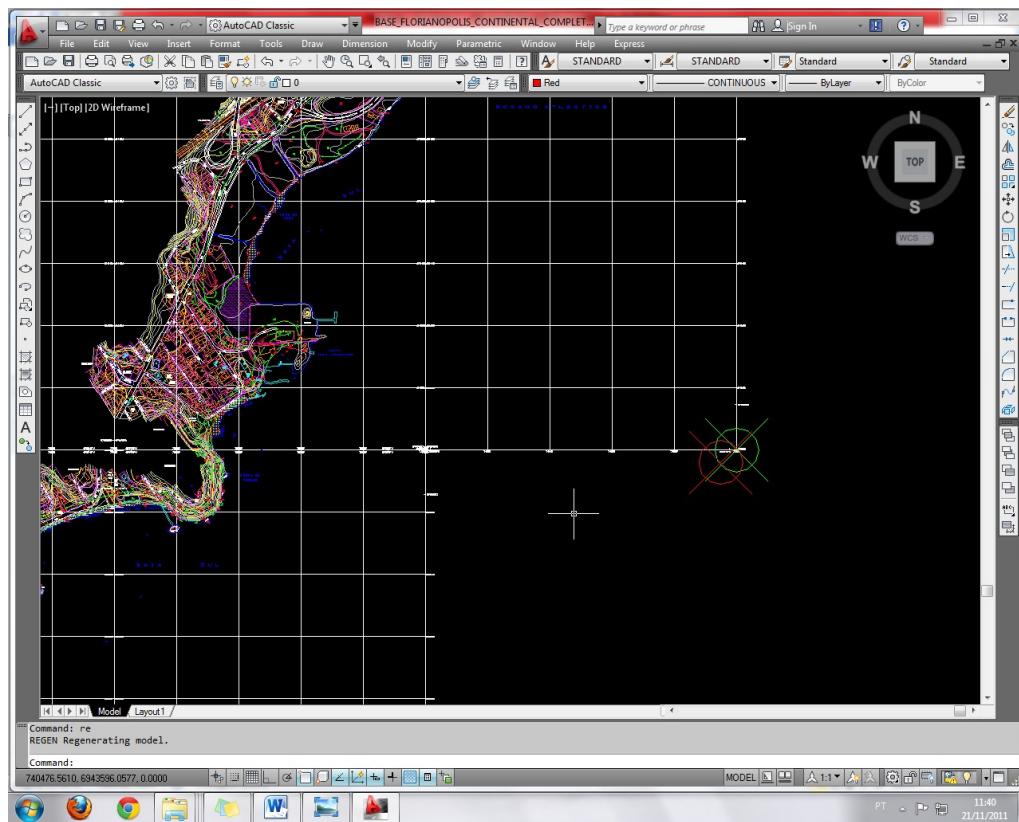


Figura 06 - Em vermelho a coordenada em SAD69 e em verde sua correspondente em SIRGAS2000. (LabFSG – UFSC)

6. Conclusão

É importante salientar que em qualquer projeto de Engenharia é de vital importância que se tenha as coordenadas atualizadas e coerentes com a realidade ocupacional. Considerando que a variação de coordenadas entre o antigo sistema SAD 69 e o SIRGAS 2000 não são constantes, mostrando que as medidas de distância entre pontos daquela época passam a ter valores distintos no atual sistema.

Isto é que justifica todo o investimento do governo brasileiro na integração internacional, aderindo ao SIRGAS 2000, que é baseado num conceito moderno, utilizando tecnologias novas e mais eficientes na definição das formas e dimensões da Terra.

Considerando a inegável forma elíptica da Terra, percebe-se claro a necessidade que as medidas de obras de Engenharia que envolvem grandes distâncias devem ser compatibilizadas a um sistema geodésico que leve em consideração as reais dimensões do planeta e as suas coordenadas absolutas de qualquer ponto do interesse de um projeto.

7. Referências Bibliográficas

Helmholtz, F.R. *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie (As Teorias Matemáticas e Físicas da Geodésia Superior)*, 1^a parte. Leipzig 1880, 2^a parte. Leipzig 1884;

Fernandes, V. de O. *Implicações da Adoção do Referencial Geodésico SIRGAS 2000 na Cartografia em Escala Grande*. 141 páginas. Tese (Doutorado) – UFSC. Florianópolis, 2009;

Galdino, C. A. P. M *Cadastro de parcelas territoriais vinculado ao Sistema de Referência Geocêntrico - SIRGAS2000*. Teses – UFSC. Florianópolis, 2006;

Oliveira, R. F.; Silva, R. R.; Celestino, V. da S. *Geração de Base Cartográfica e Implantação de Rede Geodésica Local para Gerenciamento de Campus Universitário.* TCC – UFRGS. Porto , 2005;

IBGE, *Resolução 1/2005 Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro* – Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/projeto_mudanca_referencial_geodesico/legislacao/rpr_01_25fev2005.pdf> acesso em Março de 2012;

IBGE, *Perguntas Mais Freqüentes* – Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#11>> acesso em Março de 2012;

IBGE, *Programa de transformação de coordenadas – ProGrid* – Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm> acesso em Março de 2012;

IBGE, *Informativo Geodésico Ano 1 – nº 1* – Disponível em:
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/projeto_mudanca_referencial_geodesico/informativo1.pdf> acesso em Abril de 2012;

Knippers, R.A, *Geometric Aspects of Mapping* – Disponível em: <<http://plone.itc.nl/geometrics/Coordinate%20transformations/coordtrans.html>> acesso em Abril de 2012;