



TRANSFORMAÇÃO DO SISTEMA DE COORDENADAS DA BASE CARTOGRÁFICA DA SUFRAMA DE SAD 69 PARA SIRGAS2000, CONFORME DEFINIÇÕES RECOMENDADAS PELO IBGE, UTILIZANDO O SOFTWARE SIG AUTOCAD MAP 3D

SOUZA, Ênio Neves de ¹

MEDEIROS NETO, Gracindo da Rocha ²

GARCIA, Fabiano de Aguiar ³

TUMA NETO, Alberto Antônio ⁴

VALADARES, Otávio César de Paiva ⁵

NECKER, Helder Sumeck ⁶

MEDEIROS NETO, Gracindo da Rocha; et.al. **Transformação do Sistema de Coordenadas da Base Cartográfica Da Suframa De Sad 69 Para Sirgas2000, Conforme Definições Recomendadas pelo IBGE, Utilizando o SOFTWARE SIG**

¹ Bacharel em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA.

² Bacharel em Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Manaus. Pós-Graduado em Engenharia e Gerenciamento de Manutenção.

³ Bacharel em Engenharia Civil. Universidade do Estado do Amazonas-UEA Pós-Graduado em Engenharia e Gerenciamento de Manutenção.

⁴ Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Amazonas-UFAM.

⁵ Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Amazonas-UFAM.

⁶ Graduado em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Rondônia, Campus Ji-Paraná.



AUTOCAD MAP 3D. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 02, Ed. 01, Vol. 16. pp. 597-608, Março de 2017. ISSN:2448-0959

RESUMO

Este artigo trata sobre um Estudo de Caso para a adequação da base cartográfica da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), em atendimento às recomendações emanadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no que se refere ao sistema de coordenadas geográficas. Este artigo tem como objetivo apresentar a forma como se procedeu para a realização da transformação do sistema geodésico SAD 69 para o sistema SIRGAS2000, utilizando o *software* SIG *AutoCAD Map 3D*. Para a realização desta tarefa, foram seguidos os preceitos e recomendações estabelecidos pelas Resoluções da Presidência do IBGE, bem como outras fontes de consulta, buscando adaptar a base de dados cartográficos da SUFRAMA ao atual Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A realização desta tarefa foi de fundamental importância para garantir o controle da Autarquia sobre os Distritos que estão sob sua Administração, além de garantir a manutenção de um nível satisfatório de atendimento ao público.

Palavras-chave: Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, Transformação do Sistema de Coordenadas, *AutoCAD Map 3D*, SIRGAS2000.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como tema o estudo de caso da transformação do sistema de coordenadas geodésicas da base cartográfica dos Distritos Industriais I e II, ambos situados na área urbana do município de Manaus e pertencentes ao patrimônio da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), de SAD 69 para SIRGAS2000, utilizando o *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG ou GIS, em inglês) *AutoCAD Map 3D*, versão 2016, da Empresa Autodesk Inc.

Nesta perspectiva, construíram-se questões que nortearam este trabalho:



- Como atender à demanda legalmente imposta pela Resolução da Presidência do IBGE (R.PR) nº 01/2015 que define a data de término do período de transição do Sistema Geodésico Brasileiro para o Sistema de Coordenadas SIRGAS2000?
- Como garantir o gerenciamento dos Distritos administrados pela SUFRAMA, de forma que a autarquia consiga acompanhar o novo modelo referencial geodésico unificado, moderno e de concepção geocêntrica adotado em todo o país, adequando-se às mais modernas tecnologias de posicionamento?

De modo específico, o art. 1º da Resolução da Presidência do IBGE R.PR nº 01/2015 definiu a data de 25 de fevereiro de 2015 para término do período de transição para adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização de 2000,4 (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

Neste contexto, o objetivo primordial deste estudo é, pois, realizar a transformação do Sistema de Coordenadas Geodésicas do acervo cartográfico da SUFRAMA de SAD 69 para SIRGAS2000, visando adequá-lo ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) em vigor, em atendimento aos preceitos técnicos legalmente estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme art. 21 do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984:

Art. 21. Os referenciais planimétrico e altímetro para a Cartografia Brasileira são aqueles que definem o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, conforme estabelecido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em suas especificações e normas. (BRASIL, 1984)

Para alcançar os objetivos propostos, utilizou-se como recurso metodológico, a pesquisa bibliográfica e o emprego de *software* SIG *AutoCAD Map 3D* para a realização da transformação do sistema de coordenadas geodésico.



O trabalho final foi fundamentado nas normas e recomendações estabelecidas pelo IBGE, como órgão normatizador das atividades de cartografia no país, inclusive no que se refere às atividades de georreferenciamento.

DESENVOLVIMENTO

Conforme mencionado anteriormente, em função de disposições legais, cabe à SUFRAMA, na qualidade de Autarquia do Governo Federal subordinada ao Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), seguir as orientações técnicas emanadas pelo IBGE, consoante à adoção de referenciais planimétrico e altímetro para a Cartografia Brasileira. Em especial, cabe à SUFRAMA respeitar as definições estabelecidas para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Neste sentido, a primeira parte do Apêndice II da Resolução da Presidência do IBGE R.PR nº 22/1983 (FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1983) apresenta o modelo matemático a ser adotado oficialmente pelo Brasil no que se refere a transformações de Sistemas Geodésicos. Destarte, foram adotadas as equações simplificadas de Molodenskii que fornecem os acréscimos em latitude, longitude e altitude geodésicas referidas ao elipsoide do Sistema Geodésico de Referência para o Sistema . O modelo matemático simplificado de Molodenskii é apresentado a seguir:

$$\Delta\Phi^0 = \frac{1}{M_1} \{ (a_1\Delta f + f_1\Delta a) \operatorname{sen} 2\Phi_1 - \Delta x \operatorname{sen} \Phi_1 \cos \lambda_1 - \Delta y \operatorname{sen} \Phi_1 \operatorname{sen} \lambda_1 + \Delta z \cos \Phi_1 \} \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta\lambda^0 = \frac{1}{N_1 \cos \Phi_1} \{ -\Delta x \operatorname{sen} \lambda_1 + \Delta y \cos \lambda_1 \} \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta h^0 = (a_1\Delta f + f_1\Delta a) \operatorname{sen}^2 \Phi_1 - \Delta a + \Delta x \cos \Phi_1 \cos \lambda_1 + \Delta y \cos \Phi_1 \operatorname{sen} \lambda_1 + \Delta z \operatorname{sen} \Phi_1$$

$$\Phi_2^0 = \Phi_1^0 + \Delta\Phi^0$$

$$\lambda_2^0 = \lambda_1^0 + \Delta\lambda^0$$

$$h_2^0 = h_1^0 + \Delta h^0$$



Onde:

- a_1 : semieixo maior do elipsoide no sistema S_1 ;
- f_1 : achatamento do elipsoide no sistema S_1 ;
- Φ_1 : latitude geodésica no sistema S_1 ;
- λ_1 : longitude geodésica no sistema S_1 ;
- h_1 : altitude geodésica no sistema S_1 ;
- a_2 : semieixo maior do elipsoide no sistema S_2 ;
- f_2 : achatamento do elipsoide no sistema S_2 ;
- Φ_2 : latitude geodésica no sistema S_2 ;
- λ_2 : longitude geodésica no sistema S_2 ;
- h_2 : altitude geodésica no sistema S_2 ;

- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$: parâmetros de translação do S_1 em referência ao S_2 . São os componentes do vetor diferença entre os centros dos dois elipsoides de referência.

- Raio de curvatura 1º vertical no S_1 :
$$N_1 = \frac{a_1}{\sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 \Phi_1}};$$

- Raio de curvatura meridiana no S_1 :
$$M_1 = \frac{N_1}{1 - e_1'^2 \cos^2 \Phi_1};$$

- $\Delta a = a_2 - a_1$
- $\Delta f = f_2 - f_1$
- $e_1^2 = f_1(2 - f_1)$
- $e_1'^2 = \frac{e_1^2}{1 - e_1^2}$

Conforme se pode depreender a partir da análise da definição exposta acima, a abordagem simplificada de Molodenskii considera apenas as alterações translacionais entre os elipsoides dos Sistemas Geodésicos de Referência (SGR), sendo descartados eventuais efeitos rotacionais. Outro aspecto relevante é que a



simplificação adotada também desconsidera eventuais efeitos decorrentes da variação da altitude geodésica:

Deve notar-se que os acréscimos da latitude e da longitude são independentes das altitudes, embora o acréscimo da altitude dependa da latitude e da longitude do ponto, o que permite transformar as latitudes e as longitudes independentemente da altitude elipsoidal. (FERNANDES, 2009, p. 47)

Além do modelo simplificado de Molodenskii, existem diversos outros modelos que foram desenvolvidos com o objetivo de permitir a transformação entre diferentes SGR. Entre os quais, podem ser citados: Molodenskii Badekas, Bursa Wolfe, Modelo de Transformação do tipo Grid (Rede), Sete Parâmetros, entre outros.

Contudo, por se tratar de um Estudo de Caso em que é fundamental a observação do Princípio Administrativo da Legalidade no Serviço Público, não cabe realizar juízo de valor quanto ao método indicado pelo IBGE para a realização da transformação entre Sistemas Geodésicos diferentes, muito embora existam autores que critiquem o modelo adotado:

Quanto ao modelo matemático para transformação de referencial geodésico, apesar da indicação do modelo Molodensky Simplificado na Resolução n°. 23 de fevereiro de 1989, o modelo de Bursa Wolf foi o que apresentou os menores resíduos na determinação dos parâmetros, contribuindo para as menores divergências, principalmente no que se refere à alteração da forma das feições analisadas. Duas bases cartográficas poderão estar referenciadas ao mesmo sistema de referência. Mas se estas são de provenientes de transformações por dois modelos distintos, apresentarão discrepâncias nas representações em escala grande. (FERNANDES; NOGUEIRA, 2010)

Uma vez conhecida a modelagem matemática da transformação a ser utilizada, faz-se necessário caracterizar os Sistemas Geodésicos, bem como os parâmetros a serem adotados para a transformação. A Tabela 1 apresenta a caracterização dos



SGR de interesse para o presente Estudo, conforme estabelece a Resolução da Presidência do IBGE R.PR nº 01/2005, de 25 de fevereiro de 2005:

Tabela 1 – Caracterização dos Sistemas SAD 69 e SIRGAS2000

Característica	SAD 69 ()	SIRGAS2000 ()
Figura geométrica para a Terra	Elipsoide Internacional de 1967	Elipsoide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (GRS80)
Semieixo maior (m)	= 6.378.160	= 6.378.137
Fator de Achatamento	= 1/298,25	= 1/298,257222101
Origem	Vértice de triangulação Chuá (Orientação Topocêntrica)	Centro de Massa da Terra
Orientação Geocêntrica	Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de Greenwich, como definido pelo BIH*.	Polos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo BIH*, em 1984,0

*BIH: *Bureau International de l'Heure*

Por sua vez, o vértice Chuá adotado como *Datum* do Sistema SAD 69 possui as seguintes características, conforme estabelece a mesma R.PR nº 01/2005:

Ponto *Datum* = Vértice de triangulação Chuá:



- Latitude Geodésica: $\phi_G = 19^\circ 45' 41,6527''$ S;
- Longitude Geodésica: $\lambda_G = 48^\circ 06' 04,0639''$ W;
- Latitude Astronômica: $\phi_A = 19^\circ 45' 41,34''$ S;
- Longitude Astronômica: $\lambda_A = 48^\circ 06' 07,80''$ W;
- Azimute Geodésico: $A_G = 271^\circ 30' 04,05''$ SWNE para VT-Uberaba; e
- Ondulação Geoidal: $N = 0,0$ m.

Uma vez caracterizados os Sistemas de Referência Geodésica, faz-se necessário definir os parâmetros de transformação (Molodenskii Simplificado) entre os mesmos, conforme dispõe a R.PR nº 01/2005:

SAD 69 para SIRGAS2000:

- $\Delta x = -67,35$ m;
- $\Delta y = +3,88$ m; e
- $\Delta z = -38,22$ m.

Com todos os parâmetros devidamente caracterizados conforme as normatizações técnicas estabelecidas pelo IBGE, inicialmente, é preciso alimentar o *software AutoCAD Map 3D*, versão 2016, adquirido pela SUFRAMA em 2015.

O *software AutoCAD Map 3D* é um aplicativo de cartografia para SIG (Sistema de Informações Geográficas) baseado em modelo que oferece acesso a dados CAD e SIG, que atende à construção da base de dados, correção de erros da base cartográfica, análises espaciais, produção de mapas temáticos, atlas e integração com outras plataformas de SIG. O programa foi adquirido pela SUFRAMA (parte do pacote "AutoDesk Infrastructure") da empresa "Autodesk Inc." que é uma empresa mundialmente renomada de *software* de *design* e de conteúdo digital.

RC: 7520

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/transformacao-coordenadas>



Ademais, o programa possibilita o emprego da transformação simplificada de Molodenskii, recomendada pelas orientações técnicas do IBGE.

De modo específico para efetivar a transformação pretendida, foi observado o procedimento passo-a-passo (fluxograma) seguinte, utilizado para obtenção dos resultados:

1. Verificação da confiabilidade da base cartográfica existente, por meio de superposição de imagens de satélite georreferenciadas para verificação de distorções de coordenadas e identificação de marcos geodésicos materializados em campo, etc;
2. Configurar o *AutoCAD Map 3D* conforme os parâmetros recomendados pelo IBGE para os *Data SAD 69* (origem) e *SIRGAS2000* (destino). Foram criados Elipsoides, *Data* e Projeções específicas para cada Sistema Geodésico de Referência. Neste passo, o que se fez, portanto, foi a configuração do *AutoCAD Map 3D* (por meio do menu “Map Setup”, escolhendo a opção “System Library”, no grupo “Coordinate System”) com os parâmetros da resolução IBGE R.PR nº 01/2005 construindo novo elipsoide, novo *Datum*, nova projeção e a transformação geodésica “Molodensky” (SAD 69 para SIRGAS2000);
3. Abrir o desenho de origem (desenhos da base cartográfica existente) e definir nele o sistema de coordenadas SAD 69 conforme os parâmetros configurados no passo anterior para servir como origem da transformação cartográfica pretendida (por meio do menu “Map Setup”, escolhendo a opção “Assign”, no grupo “Coordinate System”). Salvas as modificações realizadas;
4. Abrir um novo desenho e configurá-lo com o novo sistema de coordenadas SIRGAS2000, conforme passo ii (por meio do menu “Map Setup”, escolhendo a opção “Assign”, no grupo “Coordinate System”);
5. No novo desenho, deve-se acessar a ferramenta “Task Pane”, acessando o menu “View” e escolhendo a opção “Task Pane Map” no grupo “Palettes”. Com o “Task Pane” aberto, deve-se ir na aba lateral “Map Explorer” e clicar com o botão direito do *mouse* na opção “Drawings” e escolher a opção “Attach”. Em seguida, deve-se escolher o arquivo salvo no passo iii; e



6. Para visualizar o desenho, é preciso acessar a opção “Current Query” com o botão direito do *mouse* e escolher a opção “Define...”. Na nova janela, deve-se escolher a opção “Location -> All”, ajustar “Query Mode” para “Draw” e clicar o botão “OK”. Salvas as modificações realizadas com a transformação simplificada de Molodenskii devidamente realizada.

Para conferência da Transformação, foram utilizados dois métodos, sendo um quantitativo (objetivo) e outro qualitativo (subjetivo).

Para a conferência quantitativa (objetiva) da manipulação da base de dados cartográficos dos Distritos da SUFRAMA, foi utilizada a Calculadora Geográfica do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível no sítio de internet <http://www.dpi.inpe.br/calcula/> (MENEGUETE, 2017).

Para tanto, foram escolhidos marcos geodésicos existentes (materializados) nos Distritos da SUFRAMA. A Tabela 2 apresenta as transformações obtidas com o emprego do *software AutoCAD Map 3D*:

Tabela 2 – Transformações obtidas em Pontos de Controle, Projeção UTM Fuso 21S

Pontos de Controle	SAD 69 (S_1 , Origem)		SIRGAS2000 (S_2 , Destino)		Translação em Planimetria	
	N_1	E_1	N_2	E_2	ΔN	ΔE
SAT-01	9.658.878,448	175.847,614	9.658.839,336	175.792,510	-39,112	-55,104
SAT-02	9.664.454,696	175.660,164	9.664.415,597	175.605,058	-39,099	-55,106
SAT-03	9.662.189,200	177.772,485	9.662.150,096	177.717,385	-39,104	-55,100

Por outro lado, com a utilização da Calculadora Geográfica do INPE, a qual utiliza a formulação matemática de transformação geodésica recomendada pelo IBGE, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 3. Deve-se observar que os erros encontrados foram bastante pequenos, não superando a ordem de poucos milímetros:



Tabela 3 – Comparativo entre transformações obtidas com utilização do AutoCAD Map 3D e com a utilização da Calculadora Geográfica do INPE, Projeção UTM fuso 21S

Pontos de Controle	AutoCAD Map 3D		Calculadora Geográfica INPE		Discrepância (Erro Planimétrico)	
	N ₁	E ₁	N ₂	E ₂	ΔN	ΔE
SAT-01	9.658.839,336	175.792,510	9.658.839,336	175.792,510	0,000	0,000
SAT-02	9.664.415,597	175.605,058	9.664.415,597	175.605,058	0,000	0,000
SAT-03	9.662.150,096	177.717,385	9.662.150,096	177.717,382	0,000	0,003

Quanto ao aspecto qualitativo da transformação geodésica, cumpre salientar que o aspecto final do trabalho ficou agradável e, segundo uma avaliação visual de superposição de imagem de satélite (*raster*), realizada no próprio ambiente do *AutoCAD Map 3D*, foi possível observar que houve um ajuste adequado entre os dados vetoriais da base cartográfica convertida para o Sistema SIRGAS2000 e as imagens georreferenciadas mostradas no software. A Figura 1 apresenta a aparência geral da transformação geodésica, permitindo visualizar as feições vetoriais superpostas à imagem *raster* fornecida pelo programa:

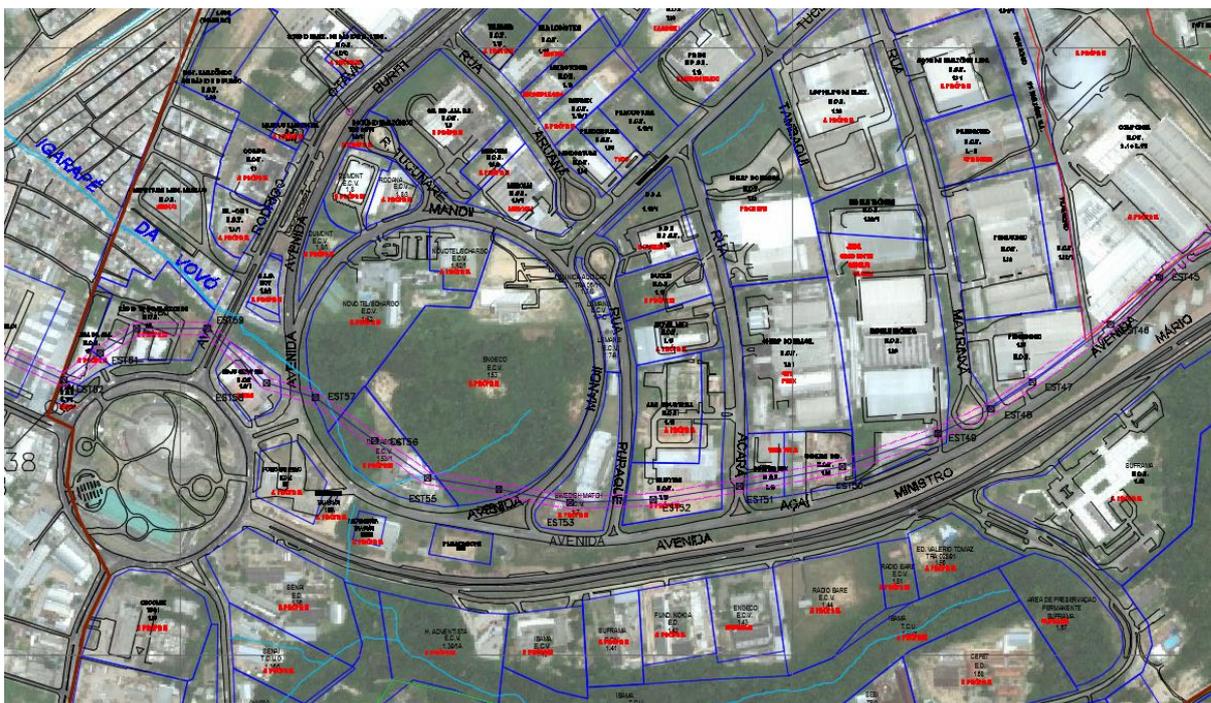


Figura 1 – Superposição dos dados convertidos ao Sistema Geodésico SIRGAS2000 em comparação com imagens de satélite. Fonte: Base de Dados da SUFRAMA e AutoCAD Map 3D

CONCLUSÃO

Por meio da Tabela 3, pode-se verificar que os erros obtidos entre as conversões das coordenadas do Sistema SAD 69 para o SIRGAS2000 utilizando a ferramenta de implementação do *Software AutoCAD Map 3D* e a Calculadora Geográfica “on-line” fornecida pelo INPE estão muito próximos de zero, tendo sido obtidos valores na ordem de milímetros, configurando-se uma precisão plenamente adequada. Sob este aspecto, pode-se concluir que o nível de precisão da conversão fornecida pelo *Software AutoCAD Map 3D* é suficiente para o atendimento aos requisitos técnicos, legalmente estabelecidos e cujo observância é mandatória para a Autarquia.

Outro aspecto observado foi o resultado geral obtido com a transformação: visualmente, foi encontrado um nível de ajustamento adequado entre a base de dados cartográficos (feições vetorizadas) e a superposição de imagens de satélite georreferenciadas, no próprio ambiente do programa.



Diante do exposto, pode-se concluir que a mudança de base cartográfica dos Distritos Industriais I e II da SUFRAMA se deu de forma satisfatória, ficando então concluída a mudança de base cartográfica, nesses termos. Não obstante, deverão permanecer, ainda, os arquivos de origem (em SAD 69), apenas para análise de processos e projetos industriais mais antigos.

REFERÊNCIAS

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução da Presidência R.PR nº 01/2005, de 25 de fevereiro de 2005. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Rio de Janeiro, 2005.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução da Presidência R.PR nº 01/2015, de 24 de fevereiro de 2015. Define a data de término do período de transição definido na R.PR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun. 1984. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 15 fev. 2017.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução da Presidência R.PR nº 22/1983, de 21 de julho de 1983. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro. Rio de Janeiro, 1983.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução da Presidência R.PR nº 23/1989, de 21 de fevereiro de 1989. Altera o Apêndice II da R.PR-22/1983. Rio de Janeiro, 1989.



FERNANDES, Vivian de Oliveira. Implicações da Adoção do Referencial Geodésico SIRGAS 2000 na Cartografia em Escala Grande. 2009. 141f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis.

FERNANDES, Vivian de Oliveira; NOGUEIRA, Ruth Emilia. Consequências da Mudança de Datum na Representação Cartográfica Direcionada para Ambiente SIG. Portal de Cartografia. Londrina, v.3, n.1, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/7357>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

MENEGUETE, Arlete Aparecida Correia. Conversão de coordenadas geodésicas em coordenadas UTM utilizando a Calculadora Geográfica do INPE e visualização dos marcadores no Google Earth. Unesp – Câmpus de Presidente Prudente. Disponível em: <https://www.academia.edu/4403149/Convers%C3%A3o_de_coordenadas_geod%C3%A9sicas_em_coordenadas_UTM_utilizando_a_Calculadora_Geogr%C3%A1fica_do_INPE_e_visualiza%C3%A7%C3%A3o_dos_marcadores_no_Google_Earth>. Acesso em: 20 fev. 2017.