

IMPLANTAÇÃO, CÁLCULO E AJUSTAMENTO DE REDES GEOSÉSICAS, VISANDO A ELABORAÇÃO DE CARTA GEOIDAL PARA A CIDADE DE CAMPINAS

ÉRICO FRANCISCO INNOCENTE

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS
Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - FATEC
Departamento de Logística e Transportes, Jundiaí - SP
innocent@terra.com.br

JORGE LUIZ ALVES TRABANCO

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC
Departamento de Transportes, Campinas - SP
trabanco@fec.unicamp.br

RESUMO - A procura por soluções de problemas referentes à aquisição de dados cadastrais, dentro da malha urbana de uma cidade, com posicionamento GPS relativo, têm se intensificado nos últimos anos. Quando uma nova tecnologia é introduzida em determinada atividade de uma organização, seja ela pública ou privada, percebe-se que sua utilização fica aquém das reais possibilidades de aproveitamento das funções disponibilizadas pelo fabricante. Essa subutilização da tecnologia/equipamento é, na maioria dos casos, devido à falta de infra-estrutura básica existente no local de atuação e a falta de preparo dos usuários. Está constatado que as determinações altimétricas, utilizando tecnologia GPS, não tem todas as suas funções exploradas devido, primordialmente, a falta de uma carta geoidal que possibilite a correção da ondulação geoidal. A comunidade científica, empresas de engenharia e órgãos públicos sabem da necessidade desta carta geoidal, onde é possível contribuir com a melhoria da acurácia das altitudes e aplicação direta nos levantamentos planialtimétricos cadastrais dentro do perímetro urbano da cidade. Portanto a motivação deste trabalho é obter um modelo geoidal para a Cidade de Campinas, melhorando a acurácia da ondulação do geóide e proporcionando o emprego do GPS na determinação de altitude ortométrica.

ABSTRACT - The search for the solution of problems concerning the acquisition of inventory data within the urban mesh of a given city through GPS relative positioning has increased in the last few years. As a new technology is introduced into a given organizational activity, either in the public or private range, one might notice that its utilization does not meet the real possibilities of using the features made available by the manufacturer. This technology/equipment subutilization is mostly due to the absence of primary infrastructure in the area where action takes place as well as due to the insufficient preparatory profile presented by users. It has been verified that altimetric determinations by using the GPS technology has had its functions not fully explored mainly because of the lack of a geoid map that makes the geoidal height correction possible. The scientific community, engineering organizations, and public entities recognize the need for such geoid map, through which it is possible to contribute to the improvement of height accuracy and to the direct application in registered planialtimetric surveys within the urban boundaries of a city. Therefore, this work is motivated by the obtainment of a geoidal model for the City of Campinas, Brazil, by improving geoidal height accuracy and providing the use of GPS for the purpose of orthometric height determination

1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresenta os procedimentos desenvolvidos para a densificação da rede geodésica de referência cadastral do município que é composta de 12 de marcos materializados através de pilares com dispositivos para centragem forçada e rastreados pelo sistema NAVSTAR/GPS. A densificação tem, também, o

objetivo de criar a rede gravimétrica municipal, rede altimétrica e a carta geoidal para a cidade de Campinas.

2 PROCEDIMENTOS

Reocupação dos 12 marcos que compõe a Rede de Referência Cadastral de Campinas.

Definição das 40 micro regiões com vértices existentes ou implantados visando estabelecer novo

adensamento de pontos de apoio. Nas micro regiões definidas, foram utilizados 19 marcos já existentes e implantados 21 novos marcos.

Os vértices das micro regiões tiveram suas determinações, horizontais e verticais baseadas no rastreamento de satélites do sistema GPS, nivelamento geométrico e levantamentos gravimétricos.

As coordenadas desses vértices foram vinculadas à Rede Geodésica GPS do Estado de São Paulo através da estação Valinhos – 91609 (IBGE – Estação Planimétrica – SAT).

Nas operações de campo para reocupação dos 12 vértices da rede de referência cadastral do município, foram utilizados 06 receptores GPS dotados de duas frequências das marcas Topcon e Trimble.

Nas operações de campo para ocupação dos vértices das micro regiões, foram utilizados 11 receptores GPS das marcas Topcon e Trimble, sendo sete dotados de duas frequências e quatro de uma frequência.

O processamento e ajustamento das observações foram efetuados através do software Topcon Tools versão 6.11, utilizando-se dados planimétricos e altimétricos nos data Córrego Alegre, SAD 69 e WGS 84 (MC 45°). Neste trabalho são apresentados os resultados em SAD 69.

Salienta-se que a escolha desse referencial foi devido a acordo entre os parceiros Prefeitura Municipal de Campinas – PMC e Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A. – SANASA, envolvidos no projeto e usuários desse referencial.

Nas operações geodésicas com emprego de nivelamento geométrico para determinar as altitudes ortométricas dos vértices das micro regiões, foram utilizados níveis Leica, Nikon e Carl Zeiss.

Neste estudo é de vital importância a determinação das altitudes ortométricas dos vértices das micro regiões visando a determinação direta da ondulação geoidal pela simples diferença entre as altitudes geométricas e ortométricas.

Em pesquisa aos RRNN disponíveis para utilização nos transportes de altitudes visando a determinação das altitudes dos vértices das micro regiões, constatou-se a viabilidade de utilização das RRNN implantadas pela TERRAFOTO em 1982 e das RRNN pertencentes a rede altimétrica do IBGE.

O levantamento gravimétrico das micro regiões foi efetuado utilizando-se gravímetros LaCoste & Romberg modelo G cedidos pelo IBGE e PTR/USP. A determinação da aceleração da gravidade nos vértices das micro regiões tem como fundamento básico a utilização desses dados na elaboração da carta geoidal da cidade de Campinas.

A configuração da Rede Gravimétrica Municipal tem a mesma abrangência espacial, conformada na malha urbana da cidade de Campinas, pelas micro regiões.

Foi utilizada a estação gravimétrica absoluta Vinhedo, instalada no Observatório Abraão de Moraes do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, localizado na cidade de Vinhedo como referência para os levantamentos gravimétricos.

Essa estação faz parte da Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas – RENEGA e seus dados são:

Gravidade (g): 978.563,778 mGal

Erro padrão: 0,010 mGal

Latitude: - 23,0004

Longitude: - 46,9645

Altitude: 863 m

Devido a altitude da estação gravimétrica absoluta Vinhedo ter sido extraída de um mapa topográfico da região, foi realizado o transporte, por nivelamento geométrico, da altitude ortométrica da RN 2863V IBGE (732,8779 m) para a estação gravimétrica absoluta Vinhedo, estabelecendo-se seu valor em 860,514 m. Por questão estratégica, determinaram-se também as altitudes do vértice Valinhos (91609) e da chapa TERRAFOTO cravada na base desse pilar.

O procedimento para ocupação dos vértices das micro regiões obedeceu as especificações técnicas de levantamento gravimétrico para o estabelecimento de estações gravimétricas básicas, conforme preconiza as normas estabelecidas pelo IBGE.

Os três gravímetros empregados foram do tipo LaCoste & Romberg modelo G a saber: G114, G145 e G146, devidamente calibrados, com respectivos fatores de escala atualizados e concomitantemente utilizados nas mensurações.

O programa utilizado para tratamento dos dados foi o GRAVI96, com módulos para entrada de dados e processamento.

3 RESULTADOS OBTIDOS

O processamento e ajustamento das observações da reocupação da rede de referência cadastral básica de Campinas resultaram nas coordenadas contidas na Tabela 1 e respectivos desvios padrão apresentados na Tabela 2.

Inicialmente calculou-se os vértices UNIC e MERC, através do vértice fundamental Valinhos. Tendo os vértices VALI, MERC e UNIC como pontos de controle efetuou-se o cálculo e ajustamento dos vértices ANEL, ATAL, CEMI, CHAP, IPAU, MIRT, PALM, PREF, TELE e TREV.

O processamento e ajustamento das observações dos vértices das micro regiões, foram efetuados utilizando os vértices VALI, MERC e UNIC como pontos de controle.

As coordenadas e os desvios padrão estão listados, de forma parcial, na Tabela 3 e 4, respectivamente.

Tabela 1 – Coordenadas da rede de referência cadastral.

Nome	N	E	Altitude Geométrica
VALI	7.454.985,114	298.530,835	863,9200
MERC	7.454.773,843	283.435,271	668,9640
UNIC	7.475.529,879	288.851,890	664,0427
ANEL	7.459.463,541	293.466,597	785,2552
ATAL	7.474.466,232	303.833,288	807,4516
CEMI	7.455.851,264	277.008,789	618,9004
CHAP	7.466.955,437	285.681,956	685,2313
IPAUI	7.462.493,091	281.853,151	653,7148
MIRT	7.480.332,549	292.201,682	698,1320
PALM	7.466.548,594	294.005,948	719,8575
PREF	7.466.059,006	289.006,711	732,9352
TELE	7.468.467,458	313.395,294	1.037,6358
TREV	7.472.257,646	286.775,975	648,8650

Tabela 2 – Desvios padrão - rede geodésica de referência cadastral do município.

Nome	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)
MERC	0,001	0,001	0,0045
UNIC	0,002	0,001	0,0052
ANEL	0,001	0,001	0,0035
ATAL	0,002	0,002	0,0048
CEMI	0,001	0,001	0,0036
CHAP	0,001	0,001	0,0031
IPAUI	0,001	0,001	0,0026
MIRT	0,002	0,002	0,0046
PALM	0,001	0,001	0,0034
PREF	0,001	0,001	0,0026
TELE	0,002	0,002	0,0059
TREV	0,001	0,001	0,0037

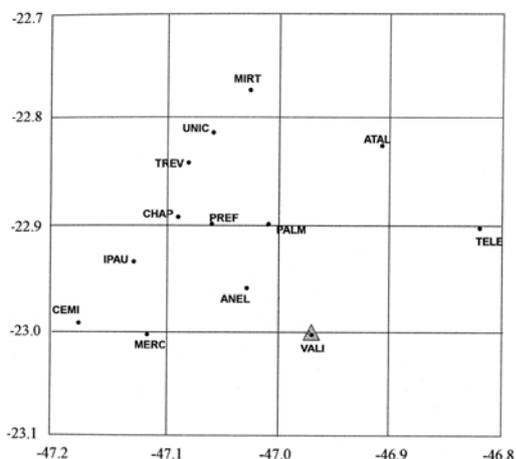


Figura 1: Vértices da Rede de Referência Cadastral Básica de Campinas.

Tabela 3 – Coordenadas parciais das micro regiões.

Nome	N	E	Altitude Geométrica
Ipau	7.462.493,091	281.853,151	653,7148
Itatinga	7.456.234,470	284.011,637	674,2510
PMC1008	7.470.691,506	297.455,445	781,9678
PMC1011	7.473.395,301	289.345,198	696,0174
PMC1013	7.480.579,610	299.804,184	766,7087
PMC2002	7.472.969,633	286.554,123	635,4687
PMC2003	7.474.982,574	285.400,358	618,0076
PMC2005	7.476.660,764	287.266,868	599,8908
PMC2036	7.467.798,828	300.248,988	692,0211
PMC2045	7.475.368,500	292.007,564	671,5489
PMC2055	7.458.430,693	278.227,669	596,3005
RN01	7.484.148,409	292.864,304	571,8608
RN2871A	7.467.263,711	280.028,354	637,2013
SAN02	7.481.560,465	296.625,636	693,0218
SAN05	7.479.378,606	285.734,587	592,1713
SAN10	7.468.846,757	290.108,285	651,5188
SAN14	7.462.896,282	287.028,863	712,3389
SAN16	7.461.509,098	276.039,033	638,0790
SAN17	7.460.699,783	278.798,259	628,4425
SAN19	7.456.145,736	279.727,336	632,4289

Tabela 4 – Desvios padrão parciais das micro regiões.

Nome	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)
Ipau	0,001	0,001	0,0026
Itatinga	0,001	0,001	0,0035
PMC1008	0,006	0,006	0,0154
PMC1011	0,002	0,002	0,0047
PMC1013	0,003	0,002	0,0064
PMC2002	0,002	0,002	0,0047
PMC2003	0,001	0,001	0,0038
PMC2005	0,002	0,002	0,0047
PMC2036	0,008	0,007	0,0184
PMC2045	0,002	0,001	0,0041
PMC2055	0,003	0,002	0,0063
RN01	0,002	0,001	0,0043
RN2871A	0,001	0,001	0,0035
SAN02	0,003	0,002	0,0055
SAN05	0,002	0,002	0,0045
SAN10	0,002	0,002	0,0055
SAN14	0,001	0,001	0,0032
SAN16	0,002	0,002	0,0058
SAN17	0,003	0,003	0,0065
SAN19	0,001	0,001	0,0040

Os dados oriundos do levantamento gravimétrico foram reduzidos através do programa GRAVI96 obtendo-se assim, a aceleração da gravidade em cada vértice. A Tabela 5 apresenta, parcialmente, os resultados obtidos.

Tabela 5 – Aceleração da gravidade - parciais das micro regiões.

Dados das estações	
Nome	g observado em mGal
VALINHOS	978563.78
PMC2020	978590.41
SAN13	978598.63
SAN12	978591.94
PMC2036	978583.76
PMC1008	978568.82
PMC2007	978597.45
UNICAMP	978603.00
PMC2045	978592.81
SAN04	978597.24
SAN05	978609.06
PMC2003	978605.15
SAN06	978610.89
RN2871A IBGE	978609.16

O modelo geoidal da cidade de Campinas foi elaborado como uma solução local visando facilitar a determinação das altitudes ortométricas com receptores GPS.

Os vértices das quarenta micro regiões formam na malha urbana, uma rede básica de densificação e apoio aos trabalhos inerentes às atividades da SANASA, Prefeitura Municipal de Campinas e comunidade usuária.

Através dos resultados obtidos para as coordenadas, altitude geométrica e ortométrica das estações levantadas montou-se a Tabela 6, onde se encontra, parcialmente, os valores das altitudes geométricas e ortométricas.

Nas últimas colunas mostram-se as diferenças entre as altitudes geométricas e ortométricas (h – H) que refletem as ondulações geoidais da cidade de Campinas.

Para gerar o modelo digital do geóide da cidade de Campinas utilizou-se o programa *Generic Mapping Tools* (GMT).

A Figura 2 apresenta o modelo geoidal da cidade de Campinas em SAD69, onde a equidistância entre as isolinhas é de dois centímetros.

Para testar a acuracidade do modelo geoidal realizou-se novas operações de campo abrangendo rastreamento e nivelamento geométrico de nove pontos.

As altitudes geométricas dos pontos de teste foram determinadas através de observações GPS pelo método de posicionamento relativo estático, utilizando receptores Trimble 4600LS, com tempo de rastreamento mínimo de uma hora.

Utilizou-se o programa Toptec para gerar as curvas de isovalores das ondulações geoidais e realizar as

interpolações dos pontos de teste (Figura 3). Verificou-se que 80% dos pontos testados apresentaram erro médio inferior a 22 milímetros.

A Figura 4 apresenta a visualização do modelo geoidal da cidade de Campinas em relação aos limites do município.

Na Tabela 7 estão indicadas as estações base utilizadas na determinação dos pontos de teste e na Tabela 8 apresenta-se as diferenças entre a ondulação geoidal determinada e interpolada.

Tabela 6 – Altitudes elipsoidais, Altitudes Ortométricas e Ondulações Geoidais.

Nome	Altitude Elipsoidal SAD69 (m)	Altitude Ortométrica (m)	Ondulação Geoidal SAD69 h – H (m)
Ipau	653,7148	650,953	+ 2,762
Itatinga	674,2510	671,340	+ 2,911
PMC 1008	781,9678	778,748	+ 3,220
PMC 1011	696,0174	693,133	+ 2,884
PMC 1013	766,7087	763,595	+ 3,114
PMC 2002	635,4687	632,699	+ 2,770
PMC 2003	618,0076	615,311	+ 2,697
PMC 2005	599,8908	597,160	+ 2,731
PMC 2036	692,0211	688,755	+ 3,266
PMC 2045	671,5489	668,710	+ 2,839
PMC 2055	596,3005	593,602	+ 2,699
RN 01	571,8608	569,082	+ 2,779
RN 2871A	637,2013	634,5295	+ 2,672
San 02	693,0218	690,006	+ 3,016
San 05	592,1713	589,472	+ 2,699
San 10	651,5188	648,573	+ 2,946
San 14	712,3389	709,391	+ 2,948
San 16	638,0790	635,471	+ 2,608
San 17	628,4425	625,729	+ 2,714
San 19	632,4289	629,643	+ 2,786

Tabela 7 – Estações base e pontos de teste.

Estação Base	Ponto de Teste	Micro Região
SAN 19	PS Trevo e PS A	32
PMC 2045	PS C	04
SAN 03	PS D	03
VALI	MERC	30
VALI	UNIC	05
SAN 13	RN2852L e PS2852J	22
VT 01	PMC 2001	10

O emprego de gravimetria na determinação da aceleração da gravidade nos vértices das micro regiões tem como fundamento básico a utilização desses dados para cálculo das ondulações geoidais (N) visando convalidar o modelo apresentado.

Tabela 8 – Ondulação geoidal determinada, interpolada e diferenças.

Ponto de Teste	Ondulação Geoidal (m)	Interpolação da Ondulação Geoidal Toptec (m)	Diferenças (m)
PS Trevo	2,9690	2,9245	0,0445
PS A	2,7826	2,7867	0,0041
PS C	2,8672	2,9089	0,0417
PS D	2,9955	2,9784	0,0171
Merc	2,9360	2,9158	0,0202
Unic	2,7657	2,7945	0,0288
PMC2001	2,7691	2,7444	0,0247
RN2852L	3,0445	3,0273	0,0172
PS2852J	3,0689	3,0642	0,0047

O processamento dos dados gravimétricos foi efetuado através do programa GRAVI96, elaborado em ambiente DOS, conjuntamente pela EPUSP e IBGE (CASTRO JUNIOR, 2005).

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para a Rede Gravimétrica Municipal de Campinas.

Tabela 9 – Valores de g, anomalias Free-air e Bouguer da Rede Gravimétrica Municipal.

Estação	g médio (mGal)	Anomalia Free air Média (mGal)	Anomalia Bouguer Média (mGal)
PMC 2020	978590,410	3,21	-79,75
SAN13	978598,653	-4,48	-81,01
SAN12	978591,947	-12,71	-88,35
PMC2036	978583,750	-16,89	-93,97
PMC1008	978568,770	-2,42	-89,56
SAN11	978591,190	-4,61	-83,24
PMC2014	978605,607	-11,75	-82,03
SAN10	978604,593	-7,87	-80,44
SAN09	978608,200	-6,07	-78,41
PMC2007	978597,490	0,00	-77,98
RN2852X	978608,170	-14,50	-83,09
PMC2005	978606,320	-17,35	-84,17
GLABTOPO	978603,037	-12,72	-82,66
PMC2045	978592,877	-9,52	-84,34
SAN03	978603,813	-17,04	-84,58
SAN02	978582,137	-10,11	-87,32
PMC1013	978566,623	-3,51	-88,96

4 COMENTÁRIOS FINAIS

A ocupação com receptores GPS e o respectivo cálculo/ajustamento dos 12 vértices da rede de referência cadastral básica de Campinas propiciou a adequação dos valores das coordenadas aos valores oficiais, divulgados

pelo IBGE, do vértice Valinhos. Ressalta-se também a determinação das novas coordenadas do vértice Prefeitura (Pref), origem do plano topográfico local.

A determinação do modelo geoidal tem como aspecto chave a qualidade e distribuição dos pontos/dados utilizados. Nas quarenta micro regiões implantadas buscou uma distribuição que atendesse os empreendimentos atuais e futuros da SANASA e Prefeitura Municipal de Campinas, visando harmonia nos interesses públicos e privados.

A logística para execução das operações de campo e a escolha do posicionamento GPS relativo estático mostrou-se adequado aos propósitos dos trabalhos, produzindo uma rede rígida e confiável. O tempo de rastreamento foi fator preponderante para os resultados atingidos.

O modelo geoidal gerado com seu traçado de isolinhas em equidistâncias de 2 centímetros permite a transformação de altitudes geométricas em ortométricas com acurácia na ordem de 22 milímetros, sendo adequado para obras de saneamento básico e cadastro técnico multifinalitário.

A carência de informações gravimétricas para a cidade de Campinas foi equacionada com a efetiva implantação da Rede Gravimétrica.

Deve-se ressaltar que tal rede viabilizará a determinação do número geopotencial para a aplicação nos nivelamentos geométricos. Outras possibilidades são estudos e modelagem em geofísica da região.

Observando os problemas enfrentados e pela experiência adquirida na elaboração deste trabalho, apresenta-se a seguir, recomendações que possam ser úteis visando a continuidade da pesquisa:

- Continuar o refinamento do modelo geoidal objetivando o uso satisfatório da tecnologia de posicionamento por satélite na obtenção de altitudes com sentido físico na região de Campinas;
- Executar levantamentos para preencher os vazios com informações gravimétricas e observações GPS/nivelamento e para tanto é de vital importância esforços conjuntos das entidades públicas e privadas;
- Que a SANASA e Prefeitura Municipal de Campinas efetuem nivelamentos geométricos dos vértices da rede de referência cadastral básica de Campinas, assim como providenciem melhor acabamento para o topo desses vértices;
- Efetuar novo processamento com as observações GPS utilizando programa científico;
- Elaborar página na internet visando disponibilizar a consulta e utilização via web dos modelos geoidais, carta de anomalia Free-air, carta de anomalia Bouguer e monografias dos vértices da rede de referência cadastral e micro regiões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a participação da SANASA, Prefeitura Municipal de Campinas, EMBRATOP, PTR – USP e IBGE

BIBLIOGRAFIAS RECOMENDADAS

ARANA, J. M. **O Uso do GPS na Elaboração de Carta Geoidal**. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

GEMAEL, C. **Marés Terrestres: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Curso de Pós- Graduação em Ciências Geodésicas, Cadernos Técnicos, 1986.

JUNIOR, C. A. C. e C. **Contribuição ao Estabelecimento de um Sistema Gravimétrico para a América do Sul**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LOBIANCO, M. C. B. **Determinação das alturas do geóide no Brasil**. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

SILVA, M. A. **Obtenção de um Modelo Geoidal para o Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

TRABANCO, J.L.A. **Ajustamento e Homogeneização de Redes Gravimétricas Fundamentais Regionais**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

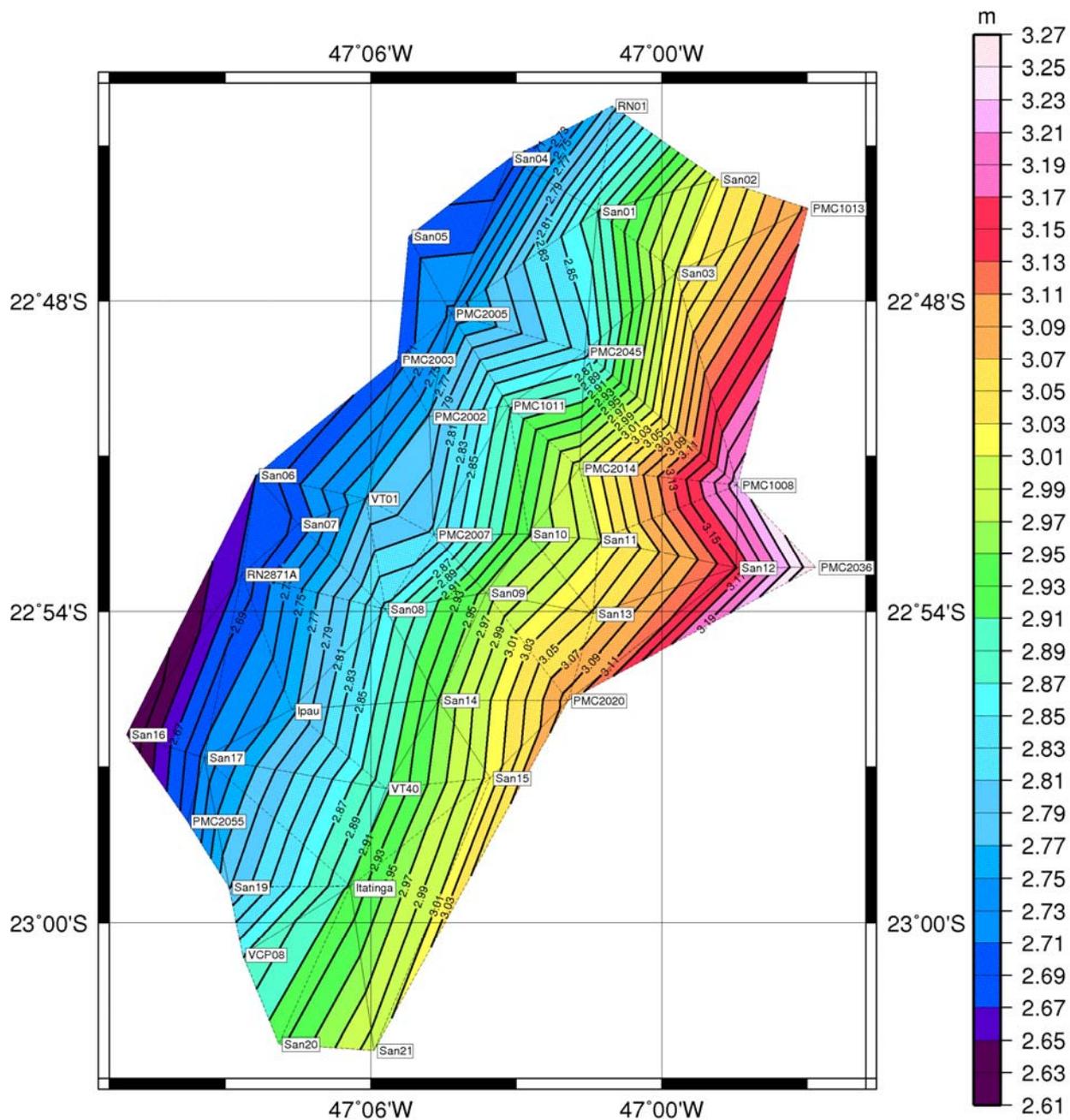


Figura 2: Modelo Geoidal da cidade de Campinas – SAD69.

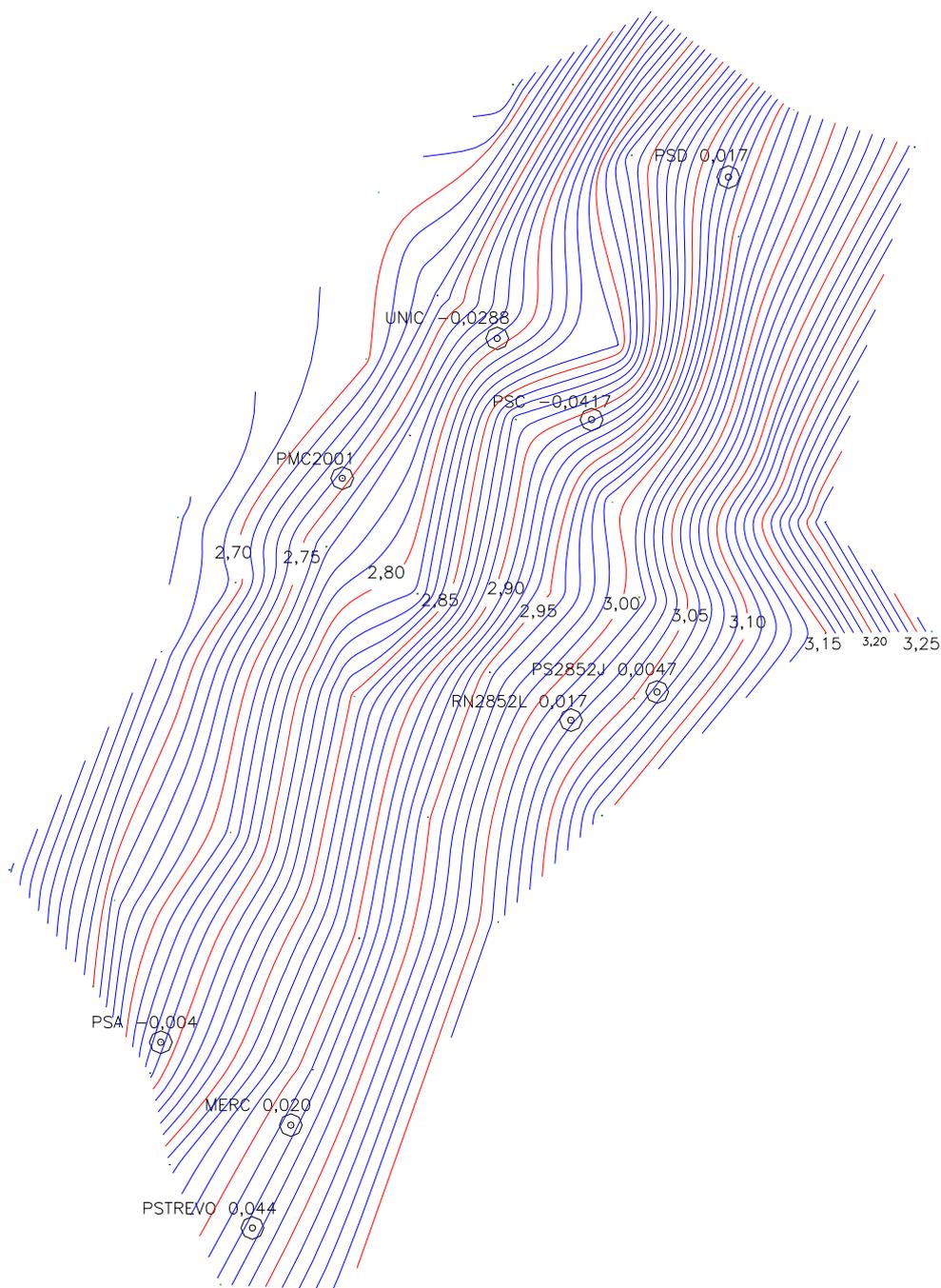


Figura 3: Pontos de teste do Modelo Geoidal da cidade de Campinas – SAD69.

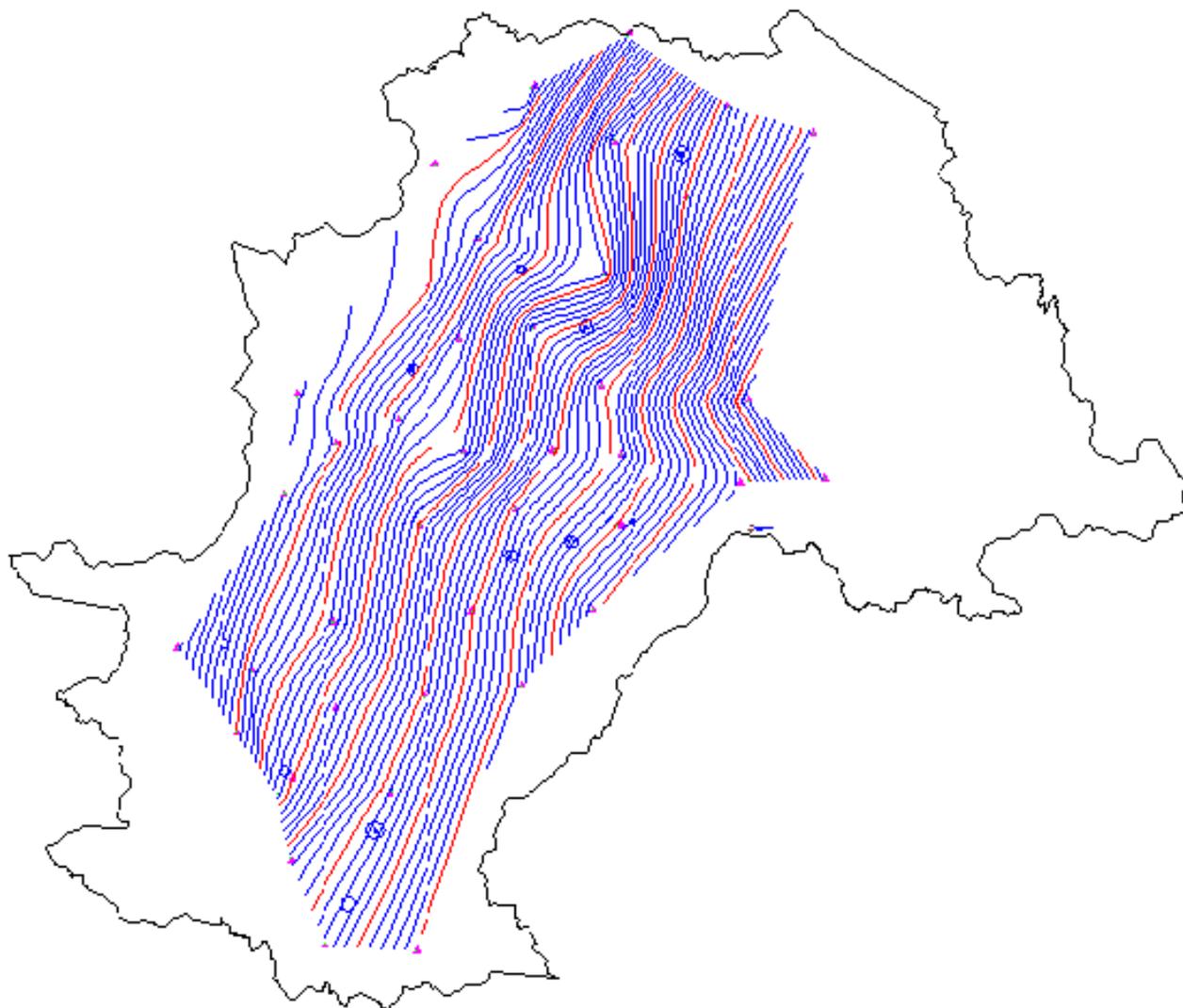


Figura 4: Visualização do Modelo Geoidal da cidade de Campinas em relação aos limites do município – SAD69.