

DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS DA REDE DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DA BACIA DO RIO CAMBORIÚ, SANTA CATARINA, BRASIL

Área temática: Cartografía y tecnologías de la información geográfica

Autores: Juliana Mio de Souza, Epagri/Ciram – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia, julianasouza@epagri.sc.gov.br;

Ana Paula Esnidei Pereira, Bolsista DTI-C CNPq, Epagri/Ciram – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia, esnidei@gmail.com

Em todas as áreas que necessitam de um controle altimétrico, o estudo dos referenciais é uma etapa indispensável, pois constituem a base dos cálculos de desníveis das medidas. Em projetos de engenharia, é usual empregar uma referência altimétrica arbitrária. Apesar de solucionar o problema localmente, uma referência altimétrica arbitrária impede o estabelecimento de uma base comum para a conexão e articulação entre os diversos projetos, fato que pode ocasionar diversos problemas. Na rede hidrometeorológica nacional, estima-se, pela consulta no sítio do HIDROWEB, que 99% das estações fluviométricas possuem uma referência arbitrária, o que impossibilita, limita ou prejudica estudos hidrodinâmicos e hidrológicos. Dados fluviométricos, sem referência vertical comum, inviabilizam definir com precisão o perfil longitudinal dos rios e sua variação com o tempo, calcular parâmetros hidrodinâmicos, estabelecer o potencial hidráulico e fixar um controle vertical das cheias, comprometendo a definição de áreas de risco de inundação, entre outras atividades e ações. Esse trabalho teve por objetivo determinar as altitudes ortométricas (H) da rede de monitoramento hidrometeorológico da Bacia do Rio Camboriú. Os equipamentos utilizados em campo foram de alta precisão e classificados como GPS geodésico de duas ondas portadoras L1 e L2. São eles, receptores GNSS/GPS Leica 1200 RTK e GPS Leica 900 RTK. Utilizando a RN/IBGE de Itajaí, através do método GNSS/Nivelamento, foi implantada, na Estação Meteorológica principal localizada na área de estudo (Emasa), a base de referência para determinação das altitudes ortométricas das estações da rede de monitoramento. Assim foram rastreados a RN de Itajaí e o ponto-base na estação Emasa; determinadas suas alturas geoidais (N) pelo modelo MapGeo2010; determinada a diferença entre a N extraída do modelo e N calculada para a RN de Itajaí; corrigido o valor de N do ponto-base utilizando a diferença anteriormente calculada. Uma vez implantada a base essa foi utilizada como referência para o rastreamento e determinação da altitude ortométrica das demais estações localizadas na Bacia do Rio Camboriú. A precisão média das altitudes determinadas foi de 0,2638m o que representa, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC precisão altimétrica compatível com a escala 1:2.000, considerado satisfatório nesse trabalho.

Palavras-chave: altura geoidal, GNSS/Nivelamento, estudos hidrológicos

Rede de monitoramento hidrometeorológico da Bacia do Rio Camboriú

A rede de monitoramento hidrometeorológico da Bacia do Rio Camboriú consiste em um conjunto de equipamentos de coleta e um portal de disponibilização de dados meteorológicos,

hidrológicos e de qualidade da água do rio Camboriú e seus afluentes. Essa rede é parte integrante de um projeto de pesquisa financiado pelo CNPq em parceria com Epagri, SDS, MDA, EMASA, Prefeitura de Camboriú e de Balneário Camboriú.

A rede é formada por duas sondas multiparamétricas de qualidade de água e cinco estações que fazem a leitura, coleta e transmissão dos dados. Porém, os dados coletados e monitorados, apesar de fundamentais, são insuficientes para alguns estudos mais complexos no que diz respeito ao comportamento hidrológico da bacia hidrográfica e entre outros.

A bacia hidrográfica, na qual foi implantada a rede de monitoramento, localiza-se, conforme mostra a figura 1, na área dos municípios de Balneário Camboriú e Camboriú, Região Hidrográfica Atlântico Sul segundo a classificação proposta pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. E esta é uma área constituída por um complexo hidrológico, onde os rios Camboriú, Canoas, Braço, Ribeirão dos Macacos e Pequeno formam a principal rede de drenagem.

Enquanto para a grande maioria dos projetos locais de engenharia pode ser empregado um referencial altimétrico arbitrário, para projetos maiores e estudos hidrodinâmicos e/ou hidrológicos já se faz necessário a determinação de uma referencia altimétrica baseada no nível médio do mar. Porém, estima-se que, com base nas informações disponibilizadas no sitio HIDROWEB da Agência Nacional de Águas, apesar de essencial, 99% das estações fluviométricas instaladas não possuem um referencial altimétrico real. Essa ausência de uma referencia vertical comum para todos os dados fluviométricos acaba por inviabilizar a definição do perfil hidráulico que é informação fundamental na calibração de modelos hidromorfométricos capazes de simular vazão, transporte de sedimento e cotas de cheia durante um evento extremo de precipitação potencialmente perigoso.

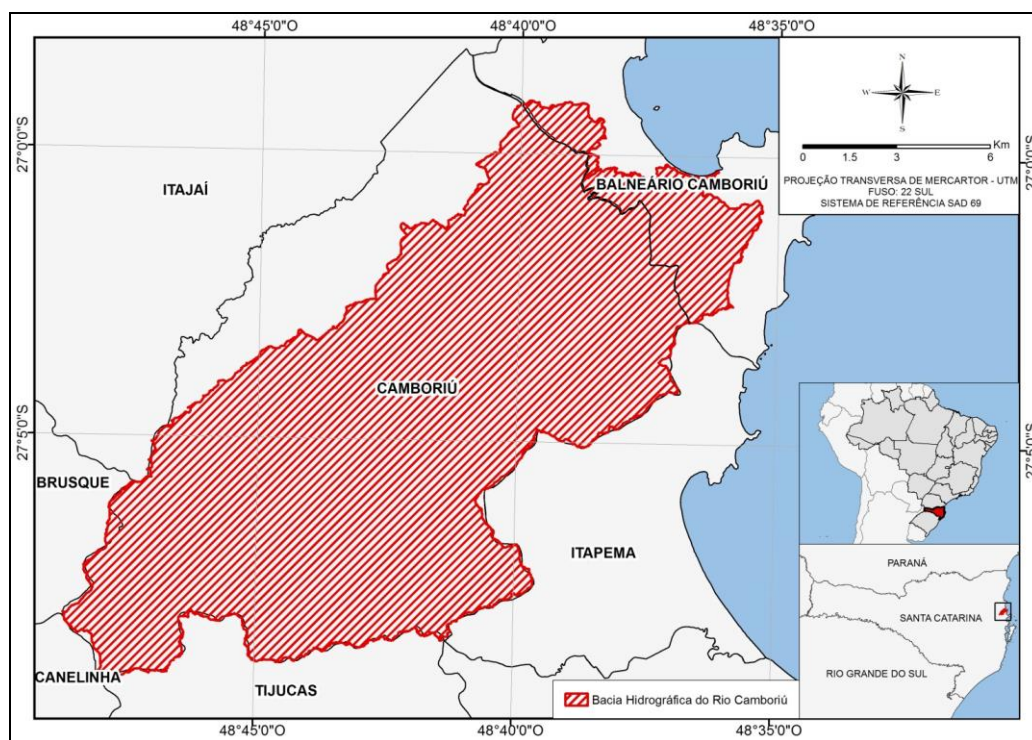


Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Camboriú

Sistema Geodésico Brasileiro - SGB

A partir dos anos 80, o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, através do seu Departamento de Geodésia, criou o projeto Global Positioning System – GPS com o intuito de estabelecer metodologias que possibilitassem o uso pleno da tecnologia GPS que se apresenta como

uma evolução dos métodos de posicionamento geodésico até então usados, mostrando-se amplamente superior nos quesitos rapidez e economia de recursos humanos e financeiros.

O Sistema Geodésico Brasileiro – SGB é composto pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica, sendo definido a partir da adoção do sistema geodésico de referência formado por duas componentes: referência horizontal (datum planimétrico) e a referência vertical (datum altimétrico), e a rede de referência, consistindo das estações monumentadas (materializadas), as quais representam a realização física do sistema (Monico, 2000).

A relação entre as superfícies usadas em geodésia, é ilustrada pela Figura 2 onde N é a ondulação geoidal ou altura geoidal, H altitude ortométrica e h altitude geométrica. Em trabalhos cartográficos a quantidade de especial interesse é a altitude ortométrica, a qual é vinculada ao campo gravitacional da Terra. O GPS proporciona a altitude geométrica h (refererida ao elipsóide), cuja conversão para ortométrica necessita-se do conhecimento da ondulação do geóide na área de interesse, isto é, $H = h - N$ (Monico, 2000).

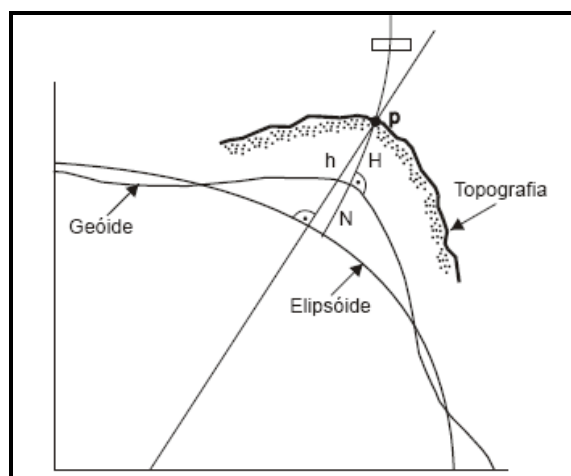


Figura 2 - Relação entre as superfícies usadas na geodésia
Fonte: Nérís (2004)

O IBGE através da Coordenação de Geodésia (CGED) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP realizaram conjuntamente a atualização do modelo de ondulações geoidais (MapGeo2010), possibilitando aos usuários de GPS converter as altitudes geométricas (h) em ortométricas (H) com uma melhor confiabilidade (IBGE, 2014).

A consistência entre o modelo geoidal MapGeo2010 e o sistema altimétrico brasileiro derivado do nivelamento geométrico (Referências de Nível – RRNN) foi obtida pela diferença entre estas duas informações, resultando num erro médio padrão de $\pm 0,32$ m para as áreas mais desenvolvidas do país.

O termo Global Navigation Satellite System – GNSS é utilizado quando o receptor possui a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS (e outros, quando operacionais).

Assim, diante de tais avanços tecnológicos, é possível determinar com uma melhor confiabilidade a altitude ortométrica de um ponto de interesse utilizando a integração GNSS e nivelamento geométrico associado ao MapGeo2010.

Controle de qualidade cartográfico

O controle de qualidade de um produto cartográfico é uma fase extremamente importante e é poucas vezes realizado no Brasil. É importante ressaltar que para cada aplicação do produto cartográfico há uma tolerância permitida e que a medida que a tolerância aumenta esta preocupação

pode se tornar desprezível, não descartando a necessidade de se conhecer a qualidade geométrica do produto em qualquer situação (GALO e CAMARGO, 1994).

O Decreto-Lei nº 89.817/84 estabelece normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica. Vale destacar que, segundo Francisco (2001), independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica é a mesma.

Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC

O artigo 8º do decreto-lei nº 89.817/84, estabelece que a forma de classificar um documento cartográfico quanto à sua exatidão, deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), segundo o critério abaixo indicado:

1 – Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido.

2 – Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido.

O PEC – Padrão de Exatidão Cartográfico nada mais é que um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Essa probabilidade corresponde a 1.6449 vezes o Erro-Padrão: $PEC = 1,6449 * EP$.

O Erro - Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8 % (1σ) do Padrão de Exatidão Cartográfico. Vale destacar que esse decreto considera equivalentes os termos Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro Médio Quadrático.

O artigo 9º do mesmo decreto estabelece que as cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes:

Classe A

Padrão de Exatidão Cartográfico - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

Padrão de Exatidão Cartográfico - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo um terço o erro-Padrão correspondente.

Classe B

Padrão de Exatidão Cartográfico - Planimétrico: 0,8 mm, na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

Padrão de Exatidão Cartográfico - Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas de nível, sendo dois quintos o erro-Padrão correspondente.

Classe C

Padrão de Exatidão Cartográfico - Planimétrico: 1,0 mm, na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

Padrão de Exatidão Cartográfico - Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo da metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

Portanto, a partir do controle de qualidade definido pelo PEC é possível determinar se os produtos cartográficos produzidos são passíveis de confiança quanto à qualidade geométrica dos mesmos e se atendem à aplicação do usuário.

Objetivo

Determinar a altitude ortométrica (H) das estações que compõem a rede de monitoramento hidrometeorológico da Bacia do Rio Camboriú, localizado em Santa Catarina, Brasil.

Atividades em campo

O método adotado, baseado em Arana (2013), consiste em determinar a altitude ortométrica (H) de um ponto de interesse em relação a uma estação de Referência de Nível (RN), que compõe a Rede Altimétrica do IBGE, associado à um modelo geoidal, ou seja, determinação de altitude ortométrica usando a integração GNSS/Nivelamento e o modelo geoidal do MapGeo2010 (aplicativo para cálculo de N disponível no sítio do IBGE).

Para a determinação da altitude ortométrica da rede de monitoramento hidrometeorológico foram utilizados receptores GNSS de alta precisão, classificados como GPS Geodésico com portadoras L1 e L2, equipados com sistema de rádio RTK - Real Time Kinematic. Os modelos utilizados foram os receptores Leica 1200 RTK e o Leica 900 RTK. Um receptor GPS/GNSS RTK é aquele que provê o posicionamento relativo cinemático em tempo real, o qual permite ao operador obter informações, diretamente no campo, sem a necessidade de pós-processamento, e atingir uma precisão centimétrica. Equipamento utilizado nesse trabalho conta também com duas constelações de satélites para posicionamento: GPS (norte americana) e GLONASS (russo).

O método adotado, baseado em Arana (2013), consiste em determinar a altitude ortométrica (H) de um ponto de interesse em relação a uma estação de Referência de Nível - RN, que compõe a Rede Altimétrica do IBGE, associado à um modelo geoidal, ou seja, determinação de altitude ortométrica usando a integração GNSS/Nivelamento e o modelo geoidal do MapGeo2010 (aplicativo para cálculo de N disponível no sítio do IBGE).

Considerando fatores como, situação da RN materializada, condições de rastreamento e a distância ao ponto de interesse (recomenda-se distância não superior à 20km para garantir alta precisão posicional) foi definido que a RN 3011J da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro, localizada em Itajaí, distante 12,78 km do ponto de interesse, seria a estação de referência de nível para determinar a altitude ortométrica do ponto de interesse.

Por se tratar do ponto usado como referência de nível, o tempo de ocupação da RN 3011J foi de quatro horas e treze minutos. Enquanto a RN era rastreada, foi implantada na Estação Meteorológica principal localizada na área de estudo (Emasa), a base de referência para determinação das altitudes ortométricas das estações da rede de monitoramento.

Determinação da altitude ortométrica (H) da base (Emasa)

De posse dos arquivos brutos rastreados com receptor GNSS de dupla frequência, foi realizada uma sequência de cálculos para determinação da altitude ortométrica da Estação Meteorológica (Base/Emasa) considerando o método GNSS/Nivelamento associado ao modelo geoidal do MapGeo2010.

Dados da referência de nível (RN 3011J):

Altura geoidal na RN (N_{GPS}), obtida por meio da fórmula 1, onde H é informada no Relatório da Estação Geodésica/IBGE – RN3011J e h determinado pelo rastreamento com receptor GNSS:

$$(1) \quad N_{GPS} = h - H = 2,5347 - 2,5191 = 0,0156m$$

A altura geoidal na RN (N_{MAPGEO}), obtida pelo modelo de ondulações geoidais do MapGeo2010 foi - 0,07m. A latitude e longitude utilizada como entrada no MapGeo2010, foram obtidas do refinamento da coordenada pelo Posicionamento Preciso por Ponto - PPP do IBGE.

A diferença das alturas geoidais (D), conforme fórmula 2, refere-se à subtração da altura geoidal calculada (N_{GPS}) da determinada pelo modelo adotado (N_{MAPGEO}):

$$(2) \quad D = N_{\text{GPS}} - N_{\text{MAPGEO}} = 0,0156 - (- 0,07) = 0,0856\text{m}$$

Dados de rastreamento na Estação Meteorológica (Base/Emasa):

Para melhorar a precisão planimétrica (latitude e longitude) e a altitude geométrica (h) na Base/Emasa do radar, o tempo de rastreamento foi de aproximadamente 60 minutos.

Para determinar a altura geoidal nesse ponto ($N_{\text{BASE/EMASA_MAPGEO}}$), as coordenadas obtidas por meio do rastreamento foram utilizadas como dados de entrada no modelo MapGeo2010, resultando o valor de ondulação geoidal igual a - 0,02m.

Para ajustar a altura geoidal na Base/Emasa (N_{AJUSTADA}), soma-se à $N_{\text{BASE/EMASA_MAPGEO}}$ o valor de D (fórmula 3):

$$(3) \quad N_{\text{AJUSTADA}} = N_{\text{BASE/EMASA_MAPGEO}} + D = - 0,02 + 0,0856 = 0,0656\text{m}$$

Por fim, com a altitude geométrica da Base/Emasa ($h_{\text{BASE/EMASA}}$), determinada por meio do rastreamento e de N_{AJUSTADA} , a altitude ortométrica da Base/Emasa é definido como mostra a fórmula 4:

$$(4) \quad H_{\text{BASE/EMASA}} = h_{\text{BASE/EMASA}} - N_{\text{AJUSTADA}} = 4,3240 - 0,0656 = 4,2584\text{m}$$

Cálculo da precisão altimétrica de H

Em toda medição há uma precisão esperada. Essa precisão altimétrica é calculada com base nas precisões obtidas tanto do rastreamento quanto do Relatório do Nivelamento Geométrico da RN. Outro fator de influência na precisão é a distância da linha-base (distância da RN ao ponto de interesse, onde para esse tipo de levantamento recomenda-se uma linha-base de no máximo 20km. Assim:

Precisão de h da RN com o rastreamento GNSS = 0,0044m

Precisão de H da RN por Nivelamento Geométrico (informado no relatório da RN do IBGE) = 0,04m

Precisão altimétrica total na RN = 0,0444m

Precisão de h na Base/Emasa (rastreamento/GNSS) = 0,0011m

Linha-base = 12,78499km

Precisão do modelo geoidal = 0,01m/km

Precisão relativa (distância * constante do equipamento) = 19610m*0,01m= 0,1961m

Precisão altimétrica final de H (Precisão de h na Base/Emasa+ Precisão altimétrica total na RN + Precisão relativa) = 0,0011+ 0,0444+0,1278 = 0,1733m.

Determinação da altitude ortométrica (H) da rede de estações de monitoramento hidrometeorológico

A distribuição das estações hidrometeorológicas e a base de referência implantada podem ser vistas na Figura 3.

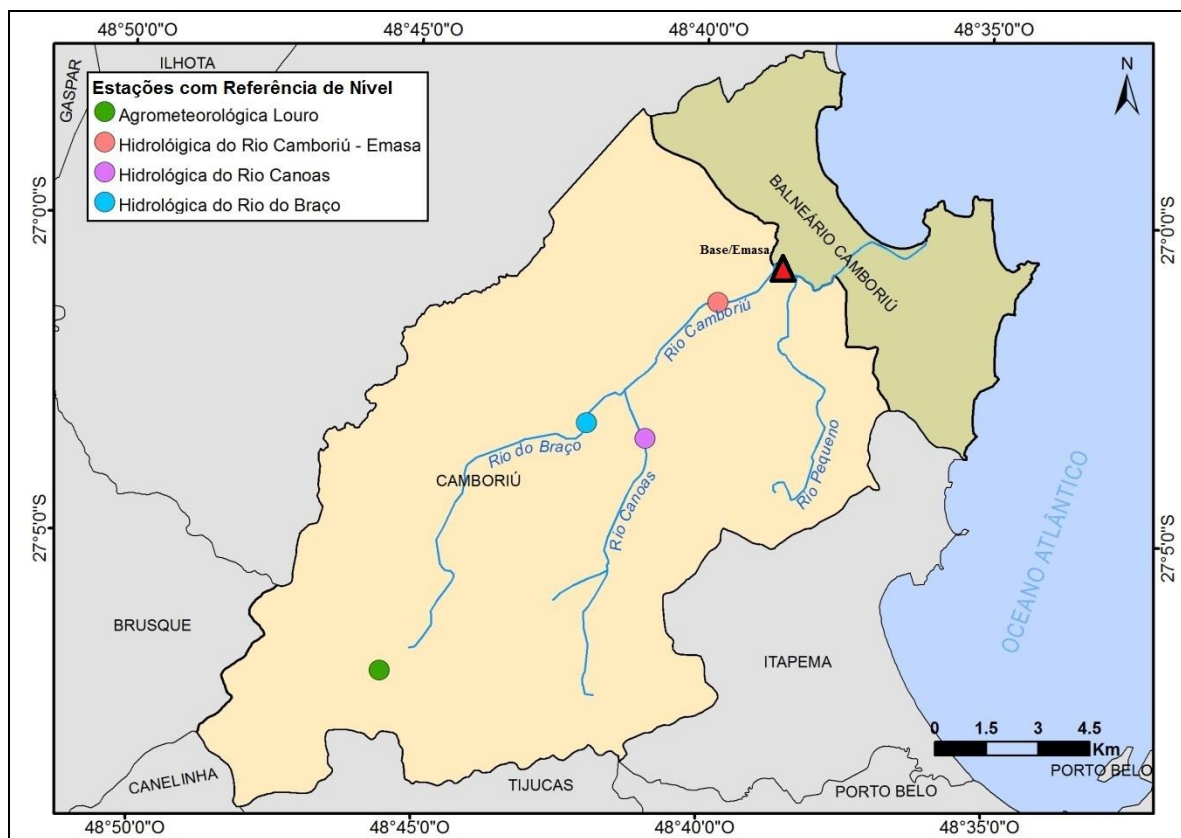


Figura 3 – rede de monitoramento da bacia do Rio Camboriú

Uma vez implantada na área da Bacia do Rio Camboriú a base de referência (chamada Base/Emasa), realizada pelo transporte de RN pelo método Nivelamento/GNSS associado ao modelo MapGeo2010, as demais estações da rede de monitoramento foram rastreadas e posteriormente calculadas como mostrado na determinação da base.

Resultado e Discussão

Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos, onde E e N são as coordenadas UTM – Universal Transversa de Mercator, h é altitude geométrica, RMS é raiz média quadrática e H é altitude ortométrica.

Tabela 1 - Resultados

Rede de monitoramento da Bacia do Rio Camboriú						Resultados	
Nome	E (m)	N (m)	h (m)	RMS vertical de h (m)	Linha base (km)	H (m)	Precisão (m)
Base/Emasa	731946,429	7009193,928	4,3240	0,0011	12,784976	4,2584	0,2060
Emasa	731888,7938	7009084,2537	1,8755	0,0073	0,123896	1,8099	0,2156
Canoas	729770,0706	7005133,7126	11,3353	0,0077	4,606722	11,2397	0,2609
Louro	722062,7399	6998408,7071	234,7517	0,0127	14,629022	234,6461	0,3661
Braço	728081,2722	7005595,2125	10,4501	0,0108	5,281116	10,3545	0,2707

Depois de determinadas as altitudes de todos os pontos e calculado a precisão de cada uma delas, obteve-se uma precisão média de 0,2638m que, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC é compatível com a escala 1:2.000, considerado satisfatório nesse trabalho.

Com os dados de altitude ortométrica de cada estação da rede de monitoramento do Rio Camboriú determinados, estas podem ser utilizadas para estudos e simulações individuais em cada ponto referenciado ou para estudos hidrológicos mais complexos que tenham toda a bacia hidrográfica como objeto de estudo.

A metodologia utilizada neste trabalho se mostrou eficaz e pode ser aplicada posteriormente em outra área de estudo ou ainda para determinação da altitude ortométrica de outros pontos que possam vir a serem inseridos na rede.

Referência Bibliográfica

ARANA, J.M. **Determinação de altitude ortométrica com uso da integração do GPS/Nivelamento ao MapGeo2010.** *Colloquium Exactarum*, v.05, p.90, 2013.

BRASIL. Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984. *Normas Técnicas da Cartografia Nacional.* Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

FRANCISCO, H. R. **Qualidade de dados espaço-temporal: Estudo de caso de acurácia posicional e atualização.** (2001). Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas.** In: 1º COBRAC, 1994, Florianópolis. Anais do Congresso Brasileiro de cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, 1994.

IBGE(2014). Geodésia. Disponível em < www.ibge.gov.br>. Acesso em Maio de 2014.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicação.** 1ª Edição. São Paulo, Editora UNESP, 287, 2000.

NÉRIS, F.L. **Análise da qualidade geométrica de diferentes bases cartográficas para o cadastro técnico multifinalitário urbano.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 132p, 2004.