

NIVELAMENTO GNSS PARA APLICAÇÕES EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO

GNSS leveling for applications in areas susceptible to flooding

Frederico Mercer Guimarães Junior

Universidade Federal de Santa Catarina

PPGTG – Prefeitura de Rio Negro/PR

fmercerjunior@gmail.com

Vivian da Silva Celestino Reginato

Universidade Federal de Santa Catarina

PPGTG – Departamento de Engenharia Civil

vivian.celestino@ufsc.br

Paulo Sergio de Oliveira Junior

Universidade Federal do Paraná

Departamento de Geomática

paulo.junior@ufpr.br

Resumo:

Com as variações climáticas abruptas nos últimos anos, são evidenciadas mudanças consideráveis nos locais passíveis de alagamentos ou inundações. Cada enchente torna-se um modelo singular pelo motivo de atingir locais distintos e, conseqüentemente, altitudes diferentes, que podem estar relacionadas ou não a um marco ou referência. O problema abordado nesta pesquisa utiliza como área de estudo o município de Rio Negro no Estado do Paraná, sendo que boa parte dele é delimitado pelo rio Negro. Na margem oposta ao rio se situa o município catarinense de Mafra e é justamente nesta fronteira que ocorreram diversas inundações nas últimas décadas. O objetivo deste trabalho é definir uma tolerância altimétrica a ser utilizada em regiões suscetíveis a inundações, como é o caso da área de estudo definida, gerando um modelo geoidal local via nivelamento GNSS. Foram realizados trabalhos preliminares de nivelamento de precisão e rastreamento via GNSS, o que retornou valor médio de 0,26 m na diferença entre as altitudes obtidas pelo nivelamento geométrico e as altitudes obtidas através do nivelamento GNSS.

Palavras-chave: nivelamento GNSS; nivelamento geométrico; modelo geoidal local.

Abstract

With the abrupt climatic variations in the last years, considerable changes are evident in the places susceptible to floods or floods. Each flood becomes a unique model for the reason that it reaches different locations and, consequently, different altitudes, which may or may not be related to a landmark or reference. The problem addressed in this research uses the municipality of Rio Negro in the state of Paraná as its study area, with a good part of it being delimited by the Negro river. On the opposite bank of the river, the municipality of Mafra is located in Santa Catarina and it is precisely on this frontier that several floods have occurred in recent decades. The objective of this work is to define an altimetric tolerance to be used in regions susceptible to flooding, as is the case of the defined study area, generating a local geoid model via GNSS leveling. Preliminary work of precision leveling and tracking via GNSS was carried out, which returned an average value of 0.26 m in the difference between the altitudes obtained by geometric leveling and the altitudes obtained through GNSS leveling.

Keywords: GNSS leveling; geometric leveling; local geoid model.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a maioria dos problemas relativos às inundações, é consequência de uma visão distorcida do controle por parte dos profissionais que ainda priorizam projetos localizados sem uma visão da bacia e dos aspectos sociais e institucionais das cidades. Observa-se que países em desenvolvimento e mais pobres, priorizam ações insustentáveis economicamente como as medidas estruturais, enquanto os países desenvolvidos buscam prevenir os problemas com medidas não estruturais (educação, participação pública, legislação etc.) mais econômicas e com sustentabilidade ambiental. Como a maioria das soluções sustentáveis passa por medidas não estruturais que envolvem restrições à população, dificilmente o poder público responsável pela gestão municipal busca soluções deste tipo, pois elas implicam na implementação de ações que interferem nos interesses dos proprietários dessas áreas de risco, o que torna o ato politicamente complexo e não compreendido.

Em contrapartida ao existir um evento climático que causa inundação em um determinado local, o poder público é o primeiro a ser responsabilizado por sua falta de ação ou legislação, bem como acaba se tornando público, em muitas vezes, o prejuízo causado a particulares situados nestas regiões.

O problema abordado nesta pesquisa utiliza como área de estudo o município de Rio Negro no Estado do Paraná, sendo que boa parte dele é delimitado pelo Rio Negro. Na margem oposta ao rio se situa o município catarinense de Mafra e é justamente nesta fronteira que ocorreram diversas inundações nas últimas décadas.

Para minimizar o problema, a prefeitura de Rio Negro estabeleceu em seu plano diretor uma política para evitar a construção em áreas de inundação. As novas edificações podem ser construídas livremente nas cotas acima de 779 m, entre as cotas 776 m e 779 m elas devem ser construídas com a estrutura de pilotis e, abaixo da cota 776 m, não são permitidas edificações (MUNICÍPIO DE RIO NEGRO, 2021).

Quando os imóveis se situam em locais de risco de inundação existe a problemática de requerer autorização de construção nestes locais por parte da prefeitura. Tanto a população como a administração pública devem ter segurança na liberação de construção nos locais de riscos de inundação para não acarretar transtornos futuros. Devido a esta regulamentação de medida de segurança municipal, a busca por uma metodologia eficiente, confiável e precisa vem se tornando o foco principal da equipe técnica do município de Rio Negro para dar agilidade e segurança aos resultados de processos de viabilidade para construções nestas áreas.

Diversas tecnologias têm sido utilizadas como suporte a obras de engenharia e também para resolver esta questão, desde nivelamentos via *Global Navigation Satellite System* (GNSS) até a utilização de modelos geoidais locais. Em função de sua rapidez e precisão na obtenção de coordenadas planimétricas, o GNSS revolucionou as atividades que necessitam de posicionamento. O problema é que a altitude determinada utilizando um receptor GNSS não está relacionada ao nível médio do mar, mas ao elipsoide de referência (altitude geométrica). Portanto, torna-se necessário conhecer a diferença de altitude entre as superfícies do geoide e do elipsoide (ondulação geoidal) para que se possa obter a altitude com referência ao nível

médio do mar (altitude ortométrica). Desta forma, existe um grande interesse por um modelo de ondulação geoidal brasileiro cada vez mais preciso para aplicações nas áreas de mapeamento e engenharia.

Neste íterim o objetivo geral desta pesquisa é definir uma tolerância altimétrica a ser utilizada em regiões suscetíveis a inundações, utilizando como estudo de caso a Vila Paraná no município de Rio Negro/Paraná.

2 JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA

Com o desenvolvimento de tecnologias para determinação das altitudes ortométricas foram produzidos novos conhecimentos para preencher espaços outrora ocupados pela topografia clássica convencional, neste caso específico, o nivelamento geométrico de precisão, para transporte de altitudes e materialização de Referências de Nível (RRNN).

Nos últimos anos a tecnologia GNSS vem avançando para providenciar coordenadas em tempo real, inclusive altimétricas. Segundo Guimarães *et al.* (2015), a determinação de um modelo geoidal pode ser realizada a partir de várias técnicas, uma delas é a obtenção direta da ondulação geoidal pela diferença entre a altitude geométrica (GNSS) e a ortométrica (nivelamento geométrico). A problemática da carência de uma técnica otimizada para verificar *in loco* se a altitude ortométrica da área a ser construída, está ou não, acima da altitude estabelecida pelo plano diretor do município de Rio Negro e, conseqüentemente se, a edificação se situará em uma região segura em relações às inundações ou não, é o que justifica esta pesquisa.

Esta situação não trivial e que se encontra aberta no campo de conhecimento da geodésia, foi a motivação para encontrar um caminho que possa minimizar os diversos procedimentos utilizados até agora pela equipe técnica do município de Rio Negro. Importante ressaltar a importância da pesquisa não somente no campo prático e técnico da engenharia, como encontrar técnicas que forneçam maior rapidez e precisão, por exemplo. Contudo, a metodologia adotada também deve fornecer garantias para que as futuras construções, sejam realmente situadas em locais seguros e imunes a alagamentos, visando assim, a preservação dos patrimônios, a vida dos moradores e o bem-estar geral do município.

Como a geodésia é a área do conhecimento responsável pela densificação e materialização de redes geodésicas e, as grandes obras de engenharia, no geral, são amarradas a tais redes, em locais suscetíveis a inundações a referência relacionada a altitude deve ser caracterizada com muito rigor, garantindo segurança nas construções.

Outra característica que deve ser considerada é o relevo ou topologia da região onde a inundação ocorre, sendo importante identificar se o relevo pode ser caracterizado de forma ondulada, suavemente ondulada, plana, entre outras possibilidades. Diversas são as formas utilizadas para representar este relevo e a conseqüente altimetria inerente a ele, dentre as várias alternativas disponíveis, destacam-se: modelos digitais de elevação, curvas de nível e pontos cotados.

Somente a densificação da rede geodésica local não garante a solução de todos os problemas existentes nas determinações pontuais necessárias aos empreendimentos de engenharia. Isso ocorre pois, apesar de todos os avanços alcançados nos últimos tempos, a rede geodésica altimétrica do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em muitas

regiões do Brasil ainda não é suficientemente densificada, fazendo com que o uso de GNSS se propague para longas distâncias de suas bases originais. Além disto, a dimensão territorial do país é um dos grandes obstáculos para a expansão da rede altimétrica existente, e a realização de nivelamento geométrico de forma clássica se mostra ainda mais complexa nos casos de levantamentos de longos trechos e em situações de difícil acesso, se transformando em um método cansativo e não econômico, além de aumentar significativamente a probabilidade de erros acima da tolerância especificada pelas normas. Por estes motivos a determinação de forma rápida e eficiente da altitude ortométrica representa economia de recursos em obras de engenharia, assim como em outras situações que demandam o cálculo da altitude, além de representar segurança nas medidas.

Buscar uma alternativa otimizada para determinar a altitude ortométrica da área a ser construída com rapidez e precisão, substituindo o moroso nivelamento geométrico pelo rápido nivelamento GNSS, encontrando um fator de correção de modelo geoidal na região de inundação do município de Rio Negro é o problema norteador desta pesquisa.

3 A IMPORTÂNCIA DA TOPOGRAFIA E DA GEODÉSIA PARA AS OBRAS DE ENGENHARIA

A altimetria/hipsometria é área da topografia responsável pela medição da distância vertical ou diferença de nível (DN) entre pontos. Essa área é importante para a engenharia porque todas as obras se remetem a componente física envolvida nas medições, ou seja, a componente vertical ou simplesmente o fio de prumo que deve ser nivelado antes de iniciar qualquer obra. Existem inúmeros métodos para obter a altitude de pontos, porém o mais preciso a ser utilizado em obras de engenharia, de acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), ainda é o nivelamento geométrico que realiza a medida da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes às visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras instaladas verticalmente sobre os referidos pontos de interesse (TULER E SARAIVA, 2014). Apesar da ampla utilização e precisão obtida, o nivelamento geométrico tradicional possui limitações como alto custo e tempo de execução, pois são necessários vários operadores e requer cuidados técnicos para evitar a ocorrência e a propagação de erros sistêmicos (CASTRO, 2002).

Didaticamente, de acordo com Tuller e Saraiva (2016) entre os levantamentos geodésicos, é possível utilizar operações geométricas (medidas angulares e lineares), ou técnicas baseadas em fenômenos físicos (por exemplo, valer-se de medidas gravimétricas para conhecimento do campo de gravidade) e, mais recentemente, satélites artificiais (com amparo de aspectos geométricos e físicos) para avaliar grandezas. É o que ocorre em muitos projetos de engenharia onde as coordenadas dos pontos de apoio às grandes obras podem ser obtidas por diferentes métodos de forma integrada, envolvendo tanto a topografia (em um terreno plano), quanto a geodésia (considerando a curvatura terrestre). Independentemente do tipo, elas devem estar referenciadas ao SGB.

De acordo com Tuller e Saraiva (2014), para suporte dos trabalhos geodésicos, o IBGE apresenta as estações RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), que desempenham justamente a função de fornecer um banco de dados de coordenadas conhecidas pertencentes ao SGB para aplicação e levantamento relativo por GNSS. Não menos importante neste contexto é o estabelecimento, em 2005, do novo sistema de referência geodésico para o SGB e

para o SCN (Sistema Cartográfico Nacional): o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), baseado em um sistema geodésico mundial (geocêntrico), com facilidade de posicionamento automático de alta precisão.

Atualmente, devido a adoção do SIRGAS como SGB oficial, o elipsoide utilizado como referência é o GRS80 (Geodetic Reference System 1980). É ao GRS80 que são referidas as coordenadas planas da latitude e da longitude (datum horizontal). Já o sistema vertical do SIRGAS é baseado nas componentes geométrica e física, sendo que a componente geométrica é ligada ao GRS80, assim para relacionar à forma geométrica da Terra, esta componente já está bem resolvida. A componente física, porém, segundo Sánchez (2007), implica nos cálculos dos números geopotenciais para um ajustamento continental, na determinação de um modelo quase-geoidal unificado para o continente, além das transformações do sistema de altitude clássico para o sistema de altitude moderno. No Brasil, a componente física (geoide) é materializada através do datum vertical, ou seja, o Marégrafo de Imbituba.

A adoção de um sistema de altitude moderno é importante, pois atualmente a componente vertical do SIRGAS não é completamente integrada, devido ao fato dos sistemas de altitudes clássicos não serem compatíveis com as altitudes elipsoidais obtidas pelos métodos de posicionamento pelo GNSS. Eles referem-se ao NMM determinado por marégrafos individuais em cada País, em épocas diferentes entre eles, e se utilizam geralmente de altitudes niveladas que não são corrigidas dos efeitos do campo da gravidade (DREWES *et al.*, 2002).

A determinação da altitude ortométrica através do GPS pressupõe o conhecimento da ondulação do geoide com precisão compatível ao desejado na componente altimétrica. Segundo Arana (2004), as técnicas mais usadas para a determinação do geoide com alta precisão, visando o nivelamento com o GPS, consistem, basicamente, na representação das altitudes geoidais através de componentes distintas, denominadas global, regional e local. A realização do rastreamento dos satélites do sistema GPS sobre as RRNN, nos propicia a determinação da ondulação do geoide. Assim, em uma linha formada por duas RRNN com altitudes geométricas conhecidas, pode-se interpolar a ondulação do geoide em pontos desta linha, ou próximo à mesma. Isso se dá porque nos levantamentos geodésicos e topográficos, para garantir a horizontalidade dos equipamentos é utilizada como recurso a componente física da gravidade, através de uma linha perpendicular chamada de linha de força ou vertical. A linha de força pode ser materializada na superfície terrestre com um fio de prumo, usualmente utilizado nos levantamentos de campo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo definida situa-se no município de Rio Negro a sudeste do Estado do Paraná. Tem altitude média de 775 m, área total de 595 km², população estimada no ano de 2019 pelo IBGE em 34.170 habitantes. É limítrofe ao Estado de Santa Catarina, através do Rio Negro, tendo sua sede integrada à cidade vizinha de Mafra, formando um aglomerado urbano de cerca de 80.000 habitantes; fenômeno típico de cidades-irmãs, localizadas em margens opostas nos pontos de travessia de rios de grande porte, apresentando uma simbiose no relacionamento socioeconômico, comportando-se como uma cidade única (Figura 1).

O local de estudo situa-se dentro do perímetro urbano na Vila Paraná, a sudoeste do município, confrontando com a margem direita do Rio Negro. A área de estudo tem a

particularidade de ser sujeita a alagamentos e inundações. Na Figura 2 é apresentada uma imagem com um evento de inundação ocorrido em 2018.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2022).

Os materiais utilizados para realizar esta pesquisa foram:

- Par de receptores GNSS de dupla frequência;
- Nível geodésico;
- Tripé de alumínio de dupla trava;
- Mira articulada de alumínio com 5 metros de altura;
- *Software* Microsoft Excel;
- *Software* MATLAB;
- *Software* Spectrum Survey Office;
- *Software* Trimble Business Center v4.1;
- *Software* QGIS;
- *Software* Autodesk Autocad 2020;
- *Software* LibreOffice Calc 5.0/2016.

Figura 2 – Evento de inundação ocorrido em 2018 na área de estudo.



Fonte: Google Earth (2018).

Como procedimentos metodológicos, primeiramente, foi realizada pesquisa documental em prefeituras de municípios situados em áreas de inundação e/ou enchente para verificar a existência de tolerância altimétrica para tomada de decisão nestas áreas. A partir da definição da área de estudo foram distribuídos 32 pontos na área (utilizados como ponto de apoio em voo aerofotogramétrico em outro projeto). Estes pontos foram homoganeamente distribuídos com, pelo menos 20% deles em cada quadrante da área, de acordo com as definições de Celestino (2007).

Foi realizado nivelamento geométrico de precisão de acordo com a NBR13133 (ABNT, 1994): Classe IIN, precisão média ($\leq \pm 10$ mm/km). O transporte de coordenadas altimétricas foi realizado a partir da RN-19J do IBGE. Foram realizados nivelamento e contranivelamento geométrico, devido a inexistência de uma segunda RN. Um PS (Ponto de Segurança) ficou disponível próximo da área de estudo servindo de apoio para o nivelamento. Na sequência, foi realizado o rastreamento GNSS através do método relativo estático (L1/L2) dos 32 pontos com 30 minutos de ocupação para fixar as ambiguidades. Os pontos foram rastreados com dois receptores de base nas RRNN e, em uma estação GNSS pertencente à RBMC (93970) do IBGE, situada em Curitiba/PR, enquanto um terceiro coletou os pontos de interesse.

Foram realizados diferentes processamentos GNSS utilizando as efemérides: ultrarrápidas (3-9 horas), rápidas (17- 41 horas) e finais (12-18 dias) para melhorar a precisão das coordenadas corrigidas pelas órbitas dos satélites. Para tanto foram utilizados os *softwares* *Spectrum Survey Office* e Trimble Business Center v4.1 para proceder os processamentos e ajustamentos das coordenadas.

Através das altitudes ortométricas obtidas com o nivelamento geométrico ajustado e das altitudes geométricas obtidas por levantamento GNSS, foi possível obter as ondulações geoidais e desta forma foi desenvolvido um modelo geoidal local, onde foi analisado os desvios padrões obtidos, bem como a ondulação média representativa. Esses parâmetros compuseram a correção do modelo geoidal local para obter a altitude ortométrica em qualquer ponto da área de estudo.

Para verificar a qualidade do modelo geoidal local, foram realizados levantamentos GNSS e nivelamento geométrico em 10 pontos distribuídos, via sorteio manual simples, na região de estudo, onde foi realizada a comparação entre as altitudes ortométricas obtidas via modelo geoidal local e nivelamento geométrico.

5 RESULTADOS PRELIMINARES

Como resultados preliminares são apresentados os dados e informações coletados acerca da tolerância altimétrica e/ou definições gerais sobre proibições de construções e parcelamentos em áreas passíveis de enchentes e/ou inundações em municípios situados em margens de rios e que também tem problemas de enchentes e/ou inundações.

Nos planos diretores de muitos municípios pode ser percebido que as tolerâncias altimétricas não são evidenciadas ou são inexistentes. Nas áreas de risco de enchentes e/ou inundações este elemento é de suma importância pois, em locais de transição entre as altitudes seguras e regiões de risco, as solicitações de consultas prévias de construções são abundantes e os técnicos da administração pública são poucos para produzir a grande quantidade de pareceres técnicos confiáveis e seguros que são necessários. A proposta desta contribuição é que as análises altimétricas dos locais confrontantes com áreas passíveis de enchentes e/ou inundações se tornem seguras, eficientes e práticas, levando em consideração a tolerância altimétrica que necessita ser definida.

Foi verificado que no município de Blumenau/SC é vedado parcelar imóveis abaixo da cota de enchente de 12 m, tendo como referência o artigo 8º, Inciso V da Lei de Parcelamento do Solo deste município (MUNICÍPIO DE BLUMENAU, 2010a). No município de Rio Negrinho/SC não é permitido parcelar imóveis em áreas abaixo da cota 792 m, conforme a Lei Complementar nº 35 (MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO, 2006). Em alguns municípios foram encontradas evidências que podem ser transformadas em valores para estabelecimento da tolerância altimétrica, como a escala de 1:25000 no município de Blumenau/SC (MUNICÍPIO DE BLUMENAU, 2010b) ou no município de Rio do Sul/SC (MUNICÍPIO DE RIO DO SUL, 2006), onde as futuras construções devem se situar acima da cota de 779 m com uma precisão de 1 m.

Ainda como resultado preliminar, o método de trabalho permitiu verificar a ondulação geoidal média da região, o que ocorreu através de nivelamento geométrico e contranivelamento em dez pontos de controle para levantamento das altitudes ortométricas (H). Também foi realizado levantamento GNSS pelo método relativo estático rápido dos pontos, a partir de estações de referência da RBMC, para obtenção das altitudes geométricas (h). Como resultados preliminares, na Tabela 1, são apresentadas as ondulações geoidais (N1) calculadas.

Para os dez pontos obteve-se ondulações geoidais (N1) médias da ordem de 4,17 m. Ao subtrair-se o valor de N1 médio dos valores de altitudes geométricas (h), pode-se observar que os valores das altitudes ortométricas resultantes (H2) se aproximaram daqueles valores obtidos

por nivelamento geométrico. As diferenças entre H (obtidas por nivelamento) e H2 (obtidas pelo nivelamento GNSS subtraído pelo N1 médio) apresentaram resultados satisfatórios, pois o ponto com maior discrepância ficou com diferença menor que 0,259 m (03_0264). Tal resultado evidencia que o método de nivelamento pelo GNSS é capaz de produzir altitudes ortométricas com qualidade razoável e pode ser utilizado para esta aplicação, desde que se conheça a ondulação geoidal local da área de estudo.

Tabela 1. Quantidades altimétricas proveniente dos nivelamentos GNSS e geométrico.

Ponto	Nivelamento GNSS	Nivelamento Geométrico H (m)	N calculados		Diferença
			N1 = h - H	H2	
01_0266	778,441	774,252	4,189	774,281	-0,029
02_0265	778,701	774,456	4,245	774,541	-0,085
03_0264	779,050	775,149	3,901	774,89	0,259
05_0262	784,812	780,609	4,203	780,652	-0,043
07_0260	789,265	785,086	4,179	785,105	-0,019
12_0268	793,210	788,997	4,213	789,05	-0,053
13_0269	792,216	787,989	4,227	788,056	-0,067
14_0270	789,516	785,285	4,231	785,356	-0,071
15_0271	786,231	782,172	4,059	782,071	0,101
17_0273	779,471	775,199	4,272	775,301	-0,102

Fonte: Autores (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que, ao desenvolver um modelo geoidal local, o mesmo pode ser utilizado nos levantamentos de campo no momento de verificar a viabilidade de construções, até mesmo pelo método de nivelamento GNSS relativo estático rápido, para obter as altitudes ortométricas (H), pois a maior discrepância verificada foi menor que 0,26 m entre pontos obtidos por nivelamento geométrico e nivelamento GNSS. Ao verificar a legislação sobre discrepância altimétrica, não se encontrou nenhum valor de diferença entre altitudes maiores que um metro. Isso pode ser um indicativo de que a utilização do método realizado nesta pesquisa seja suficiente para atender a expectativa de exatidão definida pelos municípios.

O cálculo de um valor de ondulação geoidal médio e a definição da tolerância altimétrica para a região de estudo será de suma importância para a equipe técnica do município de Rio Negro verificar a viabilidade de novas construções nos locais inseridos abaixo ou próximo das altitudes definidas no plano diretor. Em estudos futuros, deve-se proceder com o ajustamento e/ou modelagem da ondulação geoidal no local afim de reduzir as discrepâncias entre os produtos do nivelamento geométrico e do nivelamento GNSS.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução do Levantamento Topográfico - Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

ARANA, J.M. O uso do GPS na determinação de altitudes ortométricas. **6º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, 2004.

CASTRO, A. L. P. **Nivelamento Através do GPS: Avaliação e proposição de estratégias.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

DREWES, H.; SANCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; DE FREITAS, S. R. C. Scientific foundations of the SIRGAS. In: DREWES, H.; DODSON, A. L.; SOUTO FORTES, L. P.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. **Vertical Reference Systems.** v. 124. Cartagena, Colombia: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 297-301.

GUIMARÃES, G.N.; MATOS, A.C.O.C.M.; BLITZTKOW, D. O Quase-Geoide do Estado de São Paulo e a Avaliação dos Modelos Recentes do GOCE. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 67/8, 2015. p. 1707-1721.

MUNICÍPIO DE BLUMENAU. **Lei Complementar nº 749:** Dispõe sobre o código de parcelamento do solo para fins urbanos no município de Blumenau/SC. 23 de março de 2010a.

MUNICÍPIO DE BLUMENAU. **Lei Complementar nº 751:** Dispõe sobre o código de zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Blumenau/SC. 23 de março de 2010b.

MUNICÍPIO DE RIO DO SUL. **Lei Complementar nº 163:** Dispõe sobre o plano diretor do município de Rio do Sul/SC. 12 de dezembro de 2006.

MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO. **Lei Complementar nº 35:** Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Ambiental – Urbano e Rural do Município de Rio Negrinho/SC. 10 de outubro de 2006.

MUNICÍPIO DE RIO NEGRO. **Lei Complementar nº 44: Dispõe sobre o ordenamento territorial do município de Rio Negro/ PR.** 19 de janeiro de 2021.

TUCCI, C.; BERTONI, C. E.M. **Inundações urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003.

TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Topografia.** Porto Alegre: Editora Bookman, 2014.