

Universidade Brasil
Campus de Fernandópolis

VAGNER PEREIRA DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NIVELAMENTO NA
DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SOLO**

**AN EVALUATION OF DIFFERENT METHODS OF LEVELING FOR
DETERMINING THE VOLUME OF SOIL**

Fernandópolis, SP

2017

Vagner Pereira do Nascimento

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NIVELAMENTO NA
DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SOLO**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Fernandópolis, SP

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

N199a Nascimento, Vagner Pereira do
Avaliação de diferentes métodos de nivelamento na determinação do volume de solo / Vagner Pereira do Nascimento. – Fernandópolis, 2017.
52f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade de Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.
Orientador: Prof^o Dr. Luiz Sérgio Vanzela

1. Altimetria. 2. GNSS. 3. Sensoriamento remoto.
I.Título.

CDD 526.982

Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respeetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

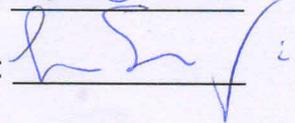
Título do Trabalho: **“AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NIVELAMENTO NA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE TERRA”**

Autor(es):

Discente: Vagner Pereira do Nascimento

Orientador: Luiz Sergio Vanzela

Assinatura: 

Assinatura: 

Data: 23/junho/2017

TERMO DE APROVAÇÃO

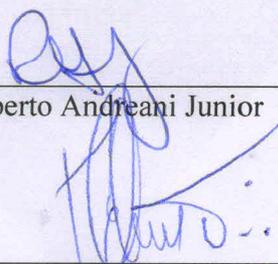
VAGNER PEREIRA DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NIVELAMENTO NA
DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE TERRA**

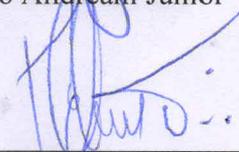
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:



Prof(a). Dr(a) Luiz Sergio Vanzela (Presidente)



Prof(a). Dr(a). Roberto Andreani Junior



Prof(a). Dr(a). Ronaldo Cintra Lima

Fernandópolis, 23 de junho de 2017.

Presidente da Banca Prof(a). Dr(a). Luiz Sergio Vanzela

*Dedico este trabalho à minha esposa
Thais Gonzaga, às minhas filhas Lara
e Ana Isa, que sempre me
impulsionam em direção às vitórias
dos meus desafios.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

A minha esposa pela cumplicidade, paciência e dedicação a mim.

A minha família.

Ao orientador pelo incentivo ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores que me prestaram auxílio e incentivo nas pesquisas realizadas.

A VIPPER Engenharia e Topografia Ltda.

Ao Centro Cultural América.

A Universidade Brasil.

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar.”

William Shakespeare

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NIVELAMENTO NA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SOLO

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a frequência de erros em diferentes métodos de nivelamento na determinação do volume de solo. Para isso, foi implantada uma malha de 36 pontos em uma área rural no município de Jales-SP. Utilizou-se o nivelamento geométrico e o contranivelamento por diferentes métodos (nivelamento geométrico, nivelamento com GNSS e GPS, nivelamento trigonométrico e nivelamento por imagens do satélite ASTER e SRTM). Diante dos resultados, na determinação do volume de solo, recomenda-se o método de nivelamento trigonométrico para tolerância de erros abaixo de 0,1%. Se o limite de erro for de até 0,5%, o método de nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK UHF pode ser utilizado. Os usos de imagens de satélite SRTM e ASTER resultaram em erros, respectivamente de 39% e 50%, enquanto o método de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com código C/A resultou em erro de cerca de 95%.

Palavras-chave: altimetria, GNSS, sensoriamento remoto.

AN EVALUATION OF DIFFERENT METHODS OF LEVELING FOR DETERMINING THE VOLUME OF SOIL

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the frequency of errors in different leveling methods for determining the volume of soil. For this, a grid of 36 points was constructed on a farm, in Jales, a town in northwest São Paulo state. Geometric leveling and counter-leveling operations were performed by different methods (geometric leveling, GNSS and GPS leveling, trigonometric leveling and leveling from both ASTER and SRTM images). Considering the results, it is recommended the trigonometric leveling method for error tolerance below 0,1% for determining the soil volume. If the error limit is set at 0.5%, the GNSS leveling method by RTK UHF, kinematic relative positioning, can be used. Using SRTM and ASTER images resulted in errors respectively of 39% and 50% while GPS leveling method by absolute positioning with C/A code resulted in an error of about 95%.

Keywords: altimetry, GNSS, remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área experimental.	30
Figura 2: Detalhe da numeração de identificação dos pontos da malha e suas respectivas coordenadas UTM Zona 22K, Datum SIRGAS 2000.....	31
Figura 3: Resultado do erro absoluto total dos diferentes métodos de contranivelamento, comparado com o nivelamento geométrico.....	37
Figura 4: Resultado do erro médio nos diferentes métodos de contranivelamento, comparado com o nivelamento geométrico.....	38
Figura 5: Detalhe do traçado das curvas de nível do terreno a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento: nivelamento geométrico (NG); e nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 4 s (RTK NTRIP4).....	39
Figura 6: Detalhe do traçado das curvas de nível do terreno a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento: nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 10 s (RTK NTRIP10); nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via UHF com tempo de ocupação de 4 s (RTK UHF); nivelamento trigonométrico com estação total, por irradiação (ET); nivelamento GPS por posicionamento absoluto – código C/A (PA CA).....	40
Figura 7: Detalhe do traçado das curvas de nível do terreno a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento: nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite ASTER (ASTER); e nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite SRTM (SRTM).	41
Figura 8: Comparação tridimensional em modelo digital de terreno (MDT), a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento (escala em metros).	42
Figura 9: Comparação tridimensional em modelo digital de terreno (MDT), a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento (escala em metros).	43
Figura 10: Resultado do volume de solo obtido nos diferentes métodos de nivelamento.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos níveis.	25
Tabela 2. Métodos e equipamentos utilizados para os nivelamentos.	32

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

3D	Terceira Dimensão
3G	Terceira Geração
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer</i>
C/A	<i>Coarse Acquisition</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
DV	<i>Datum Vertical</i>
EDM	<i>Electronic Distance Measurement</i>
ET	Estação Total
GDEM	<i>Global Digital Elevation Model</i>
GDOP	<i>Geometric Dilution of Precision</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
L1	Ondas de rádio frequência de 1575,42 MHz
L2	Ondas de rádio frequência de 1227,60 MHz
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
MHz	<i>Megahertz</i>
MNT	Modelo Numérico de Terreno
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NAVSTAR	<i>Navigation System With Timing And Ranging</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NG	Nivelamento Geométrico
NMAS	<i>National Map Accuracy Standard</i>
NMM	Nível Médio do Mar

NTRIP	<i>Networked Transport of RTCM</i>
NTRIP10	Nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 10 s
NTRIP4	Nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 4 s
P	<i>Precise or Protected</i>
P0	Ponto Zero
PA CA	Posicionamento Absoluto com Código C/A
PRN	<i>Pseudo Random Noise</i>
RN	Referência de Nível
RRNN	Referências de Níveis
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIR-C	<i>Spaceborne Imaging Radar</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VRS	<i>Virtual Reference Station</i>
X-SAR	<i>X-Band Synthetic Aperture Radar</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo geral	17
1.2. Objetivos específicos.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Geotecnologias	18
2.2. Topografia	21
2.3. Altimetria	22
2.3.1. Precisões em altimetria	25
2.4. Modelos digitais do terreno	26
2.5. Cálculo de volume de solo	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, notou-se uma exigência do mercado em relação ao aumento da produção operacional em topografia. Os licenciamentos ambientais, a expansão de obras civis, a modernização de parques industriais e da mineração, os investimentos em infraestrutura, o georreferenciamento de imóveis rurais, a automação dos cadastros urbanos e outros segmentos da engenharia, ampliam o rol de usuários e formadores de opinião sobre a ciência topográfica (TULER & SARAIVA, 2014).

Para McCormac, Sarasua e Davis (2016), o nivelamento é um método de determinação de diferenças de cotas entre um conjunto de pontos. Se um ponto possui cota conhecida, então as alturas relativas de todos os outros pontos podem ser obtidas por nivelamento. O nivelamento geométrico é o método utilizado nos levantamentos altimétricos de alta precisão que se desenvolvem ao longo de rodovias e ferrovias. No Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, os pontos cujas altitudes foram determinadas a partir de nivelamento geométrico, são denominados referências de níveis (RRNN) (FREITAS & BLITZKOW, 1999).

Os níveis podem ser óticos, digitais e laser. O nível ótico é o equipamento de uso convencional para o nivelamento geométrico. Baseia-se na visada horizontal através de um nível de luneta, sobre duas miras graduadas verticalizadas, colocadas sobre os pontos em questão; é o método mais preciso (DOMINGUES, 1979). O nível eletrônico digital é um equipamento cujo princípio de funcionamento é o processamento unidimensional de imagens a partir de mira codificada em códigos de barras (TEDESCHI; FAGGION; ANDOLFATO, 2017). O nível laser é aplicado na engenharia civil para o nivelamento de superfícies em obras civis (BRUM, 2005).

No nivelamento trigonométrico a diferença de nível é determinada de forma indireta, por meio de resoluções de triângulos situados em planos verticais, que passam pelos pontos cuja diferença de nível se calcula com as medições dos ângulos de inclinação do terreno (COMASTRI & TULER, 1999). O emprego da estação total resulta na medição eletrônica desses ângulos (SANTOS; FAGGION; VEIGA, 2011).

Na fase de levantamento altimétrico podem também ser utilizadas tecnologias como o sensoriamento remoto (aerofotogrametria e imageamento por satélites) e sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*). E para a construção, edição e

análises espaciais utilizam-se os sistemas de informações geográficas - SIG (SILVEIRA & SILVEIRA, 2015).

Pela aquisição de dados geoespaciais com laser 3D, o qual permite obter uma nuvem de pontos, e o método fotogramétrico de imagens sobrepostas, pode-se obter o modelo 3D de alvos com potencial utilidade para determinação do volume (MANU; PLAVICHEANU; TIVIG et al., 2016). A utilização cada vez mais abrangente de Modelos Digitais de Elevação (MDE) denota a necessidade do reconhecimento das limitações e potencialidades da modelagem e seus efeitos nos produtos derivados (SILVEIRA & SILVEIRA, 2015).

Mas independentemente do método de nivelamento a ser utilizado nos serviços, é necessário que os profissionais compatibilizem o levantamento a ser realizado com a precisão dos métodos disponíveis, que podem ser avaliados em função dos erros de cada método, pois a falta de precisão pode resultar em informações geoespaciais traduzem erroneamente a realidade (ELLIS & BARNES, 2015).

Para a determinação do erro altimétrico de fechamento deve-se conhecer a cota ou a altitude de um ponto da poligonal básica do caminhamento e calcular as demais cotas com as diferenças de nível conhecidas entre todos os seus pontos. A compensação do erro altimétrico de fechamento pode ser realizada pela distribuição nas diferenças de nível ou pela distribuição direta nas cotas. Consiste na divisão do erro altimétrico pelo número de vértices do polígono, somando-se ou subtraindo-se nas diferenças de nível ou nas cotas (COMASTRI & GRIPP, 1998).

Alguns fatores afetam a precisão do levantamento altimétrico com equipamentos óticos como a qualidade do equipamento de observação, os métodos operacionais, o operador, entre outros (CASACA; MATOS; DIAS, 2017). O erro de nível aparente (COMASTRI & TULER, 1999; TULER & SARAIVA, 2014) e a refração atmosférica resultam em leituras refratadas de distância e diferenças de altitude (TULER & SARAIVA, 2016). A precisão dos levantamentos com os equipamentos GNSS e GPS (*Global Positioning System*) é afetada com os efeitos da ionosfera que causam atrasos nos sinais dos satélites (MONICO, 2008), o controle das mensagens de navegação com a determinação das coordenadas dos satélites (*Broadcast Ephemerides*) (SUCI; CARVALHO; COSTA, 2010) e a solução de ambiguidades, que é de fundamental importância em posicionamentos que requeiram alta precisão (MACHADO, 2002).

Sendo assim, a avaliação de métodos mais modernos, que permitam a execução do trabalho mais rápido e com precisão compatível ao nivelamento geométrico, devem ser avaliados a fim de buscar novas alternativas para facilitar a execução dos levantamentos altimétricos e de trabalhos topográficos que dependam da determinação da diferença de nível. Neste contexto, o objetivo no trabalho foi avaliar o uso de diferentes métodos de nivelamento na determinação de volume de solo.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a precisão de diferentes métodos topográficos de nivelamento para fins de determinação do volume de solo, utilizando como referência o nivelamento geométrico.

1.2. Objetivos específicos

Para alcançar os objetivos específicos foram contempladas as seguintes etapas:

- Implantar por georreferenciamento os pontos em malha sobre o terreno;
- Realizar o levantamento altimétrico de todos os pontos da malha pelos métodos estudados;
- Determinar os erros totais e os erros médios de todos os métodos estudados em relação ao método do nivelamento geométrico (método de maior precisão);
- Processar os traçados das curvas de nível do terreno a partir dos dados de levantamento altimétrico pelos diferentes métodos avaliados;
- Gerar os modelos digitais do terreno (MDT) a partir dos dados de levantamento altimétrico pelos diferentes métodos avaliados;
- Calcular os volumes de solo da área do terreno a partir dos MDT gerados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Geotecnologias

A caracterização física de uma região é realizada com o uso de geotecnologias, que permite o emprego de diversas ferramentas disponíveis para o conhecimento, gestão e monitoramento das bacias hidrográficas de uma região e o aproveitamento dos recursos naturais ali existentes (BHERING; CHAGAS; CARVALHO et al., 2014). Dentre as geotecnologias destacam-se a cartografia digital, o sensoriamento remoto, os sistemas de posicionamento global (GPS), a topografia georreferenciada, e em especial, os sistemas de informação geográfica (ROSA, 2011).

Miranda (2010) ressalta que as geotecnologias existentes possibilitam a aquisição e manipulação de informações espaciais, sendo ferramentas relevantes para o levantamento, monitoramento e mapeamento dos recursos naturais.

A cartografia é a representação gráfica da superfície da Terra – ou de outro planeta, satélite, ou mesmo da abóboda celeste – de forma simplificada, de modo a permitir a distinção dos fenômenos nela existentes e seus elementos contribuintes (FITZ, 2008). Atividades de planejamento ou acompanhamento e execução de obra de engenharia devem basear-se em um produto cartográfico, seja em um mapa, uma carta ou uma planta, para as operações de obtenção de coordenadas, tomada de distâncias, cálculo de áreas e organização de informações temáticas (TULER; SARAIVA, 2016).

O sensoriamento remoto é o conjunto de métodos para coleta de informação geográfica, isto é, da informação referente a fenômenos distribuídos espacialmente pela superfície da Terra, por meio de interpretação de imagens fotográficas e digitais (CASACA; MATOS; DIAS, 2017). Com base em sensoriamento remoto, os dados dos satélites ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer*) e o radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) têm por objetivo gerar um modelo digital de elevação (MDE) da superfície terrestre por interferometria (BARROS; MOREIRA; RUDORFF, 2007; NASA; METI, 2010). Usando a interferometria para combinar duas imagens eletronicamente, os pesquisadores geraram versões computadorizadas de mapas topográficos, chamados modelos de elevação digital (NASA, 2000). A utilização de modelos digitais de elevação em geomorfologia permite

o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão, representado em três dimensões espaciais latitude, longitude e altitude os eixos x, y e z (CARVALHO; BAYER, 2008).

O sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) determina instantaneamente a posição, velocidade e tempo de um usuário em qualquer lugar da Terra, com base em medidas de distâncias (MONICO, 2008). De acordo com McCormac, Sarasua e Davis (2016), o método de nivelamento cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic – RTK*) teve maior impacto no desenvolvimento das tecnologias de levantamento nos últimos anos com equipamentos especializados de GPS que fornecem precisão centimétrica.

A aplicação da correção diferencial em tempo real é possível por meio de comunicação via rádio entre a estação base e os receptores móveis. O GPS com a constelação NAVSTAR (*Navigation System With Timing And Ranging*), totalmente completa e operacional, ocupa o primeiro lugar entre os sistemas e métodos utilizados pela topografia, geodésia, aerofotogrametria, navegação aérea e marítima e quase todas as aplicações em geoprocessamento que envolvam dados de campo (SILVA; FREITAS; MAGALHÃES, 1998; TIMBÓ, 2000).

O VRS (*Virtual Reference Station*) é um sistema de referência virtual, composto de *hardware* e *software* projetado para facilitar o posicionamento GPS/GNSS em tempo real, baseado num conjunto de estações de referência. Através de uma estação de referência virtual, operante continuamente em tempo real com um receptor e um transmissor fixos, para gerar uma solução modelada (MCCORMAC; SARASUA; DAVIS, 2016).

Usando o VRS, as correções base/rover recorrem à tecnologia NTRIP (*Networked Transport of RTCM (Radio Technical Commission for Maritime) via Internet Protocol*), com transmissão GSM (*Global System for Mobile Communications*), comunicação sem fio (*wireless*) atua essencialmente como uma estação de referência contínua que compõe a rede de trabalho completa. Isso permite o posicionamento RTK usando um único receptor móvel, configurado corretamente no campo (MUNDOGEO, 2009).

A tecnologia NTRIP utiliza protocolo TCP-IP (*Transmission Control Protocol - Internet Protocol*) para enviar aos receptores móveis dados para operar em modo RTK. A estação base de referência publica os dados na Internet, através de um endereço IP (*Internet Protocol*) público em que os receptores móveis buscam essas

informações através da web, normalmente utilizando-se uma conexão sem fio (*wi fi*), celular ou modem GPRS (*General Packet Radio Service*) (MUNDOGEO, 2009).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS - *Geographic Information System*) é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies. Integra numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno. Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados e gerar mapas (DPI, 2017).

O SIG tem a capacidade de realizar consultas sobre dados referenciados espacialmente. Um SIG pode ser expresso como um subconjunto das quatro tecnologias de software CAD (*Computer Aided Design*), cartografia computadorizada, sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) e sistemas de informações de sensoriamento remoto (MCCORMAC, 2006).

Para McCormac, Sarasua e Davis (2016), um sistema de informações geográficas, por outro lado, permite às pessoas não somente responder às consultas que podiam ser manipuladas com o sistema de informações, mas também responder a consultas espaciais. O termo espacial é usado aqui no sentido de referência a certa posição sobre a superfície da Terra.

O SIG pode ser definido como a série de atividades que inclui o planejamento de observações, a coleta de dados, a armazenagem e a análise dos dados, e finalmente o uso das informações obtidas em algum processo de tomada de decisões (MCCORMAC, 2006).

Para Flauzino, Silva e Nishiyama et al. (2010), a utilização dos SIG como ferramenta para mapear e obter respostas às várias questões sobre planejamento urbano e levantamento do meio físico, ao descrever os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente, além de auxiliar o planejamento e manejo dos recursos naturais existentes.

O conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico é definido pelo geoprocessamento. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas SIG. O sistema de geoprocessamento é o destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente (ou georreferenciados), desde a sua coleta até a

geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, entre outros; devendo prever recursos para sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise (DPI, 2017).

2.2. Topografia

A topografia é a representação minuciosa do terreno. O levantamento topográfico consiste numa combinação de trabalhos de campo e de gabinete que resulta no conjunto de informações que possibilita o desenho das plantas ou cartas topográficas (CASACA; MATOS; DIAS, 2017).

Segundo Loch e Cordini (2000), a topografia corresponde à ciência básica aplicada, baseada na geometria e na trigonometria plana, que emprega medidas de distâncias horizontais, diferenças de nível, ângulos e orientação, com o fim de obter a representação, em projeção ortogonal sobre um plano de referência, dos pontos que definem a forma, as dimensões e a posição relativa de uma porção limitada do terreno, sem considerar a curvatura da Terra.

A topografia contempla a necessidade de mapeamento ao descrever um lugar, figurando nessa descrição todos os detalhes existentes, como rios, lagos, vales, casas, estradas, divisas, etc. (CARDÃO, 1970).

Para Borges (1977), a topografia que, por meio de plantas com curvas de nível, representa o relevo do solo com todas as suas elevações e depressões, fornece atributos para cálculo de volume de solo, cálculo de área, dimensionamento de obras de estradas, ferrovias, pontes, barragem, túnel, linha de transmissão de força, indústria, edificação, perfuração de minas, terraplanagem, saneamento entre outros, possibilita estudos de bacia hidrográfica, áreas de desapropriação, cadastro imobiliário, entre outros.

A topografia também inclui a locação de linhas e malhas necessárias para a construção de prédios, estradas, barragens e outras estruturas. Além dessas medições de campo, a topografia compreende o cálculo de áreas, volumes e outras quantidades, assim como a preparação dos respectivos mapas e diagramas em ambientes rurais e urbanos (MCCORMAC, 2006).

A topografia comporta duas divisões principais, a planimetria, onde são medidas as grandezas de ângulos e distâncias sobre um plano horizontal, e a altimetria que usa como representação a vista lateral, ou perfil, ou corte, ou elevação,

representados sobre um plano vertical e os detalhes das curvas de nível, que aparecem nas plantas (BORGES, 1977).

A partir de uma trena é possível fazer levantamentos topográficos por diastímetros, quando o instrumento de medida é aplicado diretamente sobre o terreno, é possível fazer amarrações em croqui das de medidas lineares (ALMEIDA, 1988; COMASTRI; GRIPP, 1998), ou com equipamentos topográficos tais como teodolito, estação total e receptor GNSS.

Os teodolitos são aparelhos óticos, mecânicos ou eletrônicos, são utilizados em levantamentos topográficos planialtimétricos. Com visadas tanto horizontais (ângulos horizontais – azimutais), como verticais (ângulos verticais – zenitais). Munidos de fios estadimétricos, além da função de medir ângulos, podem efetuar medidas indiretas de distância (DOMINGUES, 1979).

O levantamento trigonométrico é feito com o auxílio da estação total (ET). Uma ET é a associação de um teodolito eletrônico (medida angular), um distanciômetro eletrônico (medida linear) e um processador matemático. É um equipamento de coleta de informações medidas em campo como ângulos, distâncias, desnível entre os pontos e coordenadas dos pontos ocupados pelo refletor (prisma), a partir de uma orientação prévia (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2007). Uma das principais vantagens do nivelamento trigonométrico em relação ao geométrico é a redução do tempo gasto no levantamento (GOMES; SANTOS; POZ et al., 2014).

Uma das tecnologias de medição utilizadas na topografia georreferenciada é o método RTK GNSS (*Real Time Kinematic Global Navigation Satellite System*), que tem sido utilizada com sucesso de várias maneiras durante muitos anos (KRZYŻEK, 2015).

2.3. Altimetria

A altimetria destaca as irregularidades do terreno, trata-se dos métodos e instrumentos topográficos empregados no estudo e na representação do relevo do terreno. Com esse objetivo, as medidas são efetuadas considerando um plano vertical, obtendo-se distâncias verticais ou diferenças de nível em campo (TULER; SARAIVA, 2014).

Como uma forma de representação gráfica da altimetria em planta, as curvas de nível são linhas que ligam pontos, na superfície do terreno que têm a mesma cota.

Observando-se uma planta com curvas de nível, visualizam-se vales, grotas, espigões, divisores de água pluviais, terrenos mais íngremes ou menos inclinados, terrenos mais sinuosos e menos irregulares, elevações, entre outros. (BORGES, 1994).

O levantamento topográfico altimétrico (ou nivelamento) objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada (ABNT, 1994).

Os pontos topográficos podem ser processados e georreferenciados por uma rede geodésica, que é constituída por um conjunto de pontos materializados no terreno, com suas posições referenciadas a um sistema de coordenadas (TEIXEIRA; FERREIRA, 2003). As cotas são valores altimétricos dados em metros (m), e são determinadas através de uma referência de nível (RN). A RN é um ponto relativamente permanente de cota conhecida é onde apoiamos todo o nivelamento e atrelamos os valores altimétricos a esta referência (MCCORMAC et al., 2016).

De acordo com Espartel (1987), quando as distâncias verticais são referidas à superfície média dos mares, tomam o nome de altitudes; recebem o nome de cotas quando se referem a uma superfície de nível fictícia, situada acima ou abaixo das superfícies dos mares. Para Tuler e Saraiva (2014), o princípio fundamental para o estudo da altimetria é a materialização de superfícies de referências de nível que sirvam de comparação entre os vários pontos do terreno e as alturas advindas dessas referências, como a altitude ou a cota.

A representação do relevo é de grande importância para os projetos civis e ambientais, constando na planta, os elementos altimétricos que se prendem aos moldes do terreno. Podendo ser configurado por suas elevações e depressões nos processos de desenho do perfil, pontos cotados, curvas de nível, perspectiva, etc. (COMASTRI; TULER, 1999).

Os dados altimétricos com aplicações em obras de engenharia e levantamentos ambientais, por exemplo, podem ser determinadas de maneira convencional por técnicas de levantamento como o nivelamento geométrico; estas altitudes são vinculadas a um dado vertical (*datum* vertical - DV), normalmente um marégrafo que fornece o nível médio do mar (NMM) local referido a um determinado período de observações (MOREIRA; FREITAS, 2016).

O nivelamento geométrico é feito com o auxílio de nível ótico e podem ser aplicadas as técnicas de nivelamento simples e nivelamento composto. Na técnica de nivelamento simples é possível efetuar as leituras na mira com uma única posição do aparelho (GOMES; CARDOSO, 2008). A técnica de nivelamento composto é apropriada quando o desnível do terreno é superior à altura da mira, exigindo mais de uma estação de nível e decompondo-se o trecho a nivelar em outros que possam ser nivelados convenientemente (ESPARTEL, 1987).

O nivelamento trigonométrico baseia-se em relações trigonométricas. Fornece apoio altimétrico para os trabalhos topográficos, é menos preciso que o nivelamento geométrico (SILVA; FREITAS; MAGALHÃES et al., 1998). No nivelamento trigonométrico as diferenças de nível são obtidas mediante cálculo de distâncias e ângulos verticais. Este método pode ser aplicado com o uso de equipamentos portados de EDM (*electronic distance measurement*) - estação total, que possibilita a automatização de processos na coleta de dados em campo (FARAH e SEIXAS, 2010). Com o auxílio de teodolitos, usando grandezas de objeto da taqueometria, empregando-se lentes diastimométricas, que, para tal, possuem um retículo, com fios paralelos, chamados estadimétricos (ALMEIDA, 1988).

No nivelamento por receptores de satélite são utilizadas técnicas espaciais com GPS (TULER; SARAIVA, 2016). Esses equipamentos possuem a capacidade de processarem no próprio receptor os códigos e sinais recebidos do rastreador. Cada satélite emite um sinal que contem: códigos de precisão P (*Precise or Protected*), código geral ou civil C/A (*Coarse Acquisition*) e informação de status. Para detectar atrasos de frequências, os satélites do sistema enviam o código P em duas ondas de rádio de diferentes frequências, chamadas L1 ($L = 1575,42$ MHz e $\lambda = 19$ cm) e L2 ($L = 1227,60$ MHz e $\lambda = 24$ cm) (MONICO, 2008). Receptores de código C/A com portadora L1 podem alcançar o erro médio de até 300 m, dependendo da interferência provocada pelo código digital. Essas interferências se dão pela qualidade dos sinais do almanaque, por erro de geometria dos satélites (GDOP - *Geometric Dilution of Precision*) e por meios de propagação (efemérides) (FONTANA, 2002).

Os receptores GNSS rastreiam ambas as frequências e medem a diferença entre a recepção dos sinais L1 e L2, calculam o atraso devido aos elétrons livres e fazem correções para o efeito da ionosfera (MATSUOKA, 2007). Os receptores civis não podem corrigir a interferência ionosférica porque os códigos C/A são gerados apenas na frequência L1 (FONTANA, 2002; CASTILHO; FRANZOSO, 2014). A

precisão, portanto, é medida na fase de batimento da onda portadora (L1 e L2). A cada satélite é atribuído um determinado PRN (*Pseudo Random Noise*), que é modulado nas portadoras L1 e L2 (MACHADO, 2002). Logo, todos os satélites transmitem na mesma frequência, mas podem ser identificados pelo código exclusivo de cada satélite. Trata-se da técnica denominada CDMA (*Code Division Multiple Access*) (SPILKER, 1996 apud MONICO, 2008). O CDMA é um método de acesso a canais nos sistemas de comunicação dos receptores GNSS.

2.3.1. Precisões em altimetria

A Tabela 1 apresenta as grandezas que destacam a melhor acurácia nos trabalhos de nivelamento. Os níveis óticos possuem classificação de acordo com os valores que expressam o grau de aderência das observações entre si é conhecido como precisão (ABNT, 1994).

Tabela 1: Classificação dos níveis.

Classes de níveis	Desvio-padrão
1 - precisão baixa	$> \pm 10$ mm/km
2 - precisão média	$\leq \pm 10$ mm/km
3 - precisão alta	$\leq \pm 3$ mm/km
4 - precisão muito alta	$\leq \pm 1$ mm/km

Fonte: ABNT (1994)

As precisões altimétricas são de fundamental importância para subsidiar grandes obras de engenharia, apoiar obras de irrigação, distribuição de água, construção de barragens, rodovias, projetos ambientais, de transporte, telecomunicações, saneamento básico e agricultura, ou seja, referente a tomadas de decisão com relação à infraestrutura do País (IBGE, 2011).

O que determina a precisão altimétrica dos trabalhos topográficos é a norma técnica regulamentadora brasileira (NBR), aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e estabelecida de acordo com o consenso entre pesquisadores e profissionais da área.

Alguns fatores interferem na precisão dos trabalhos de levantamento altimétrico, como a qualidade do equipamento de observação, os métodos

operacionais, as condições atmosféricas, o operador, entre outros. (CASACA; MATOS; DIAS, 2017). A substituição do nível verdadeiro (geográfico) pelo nível aparente (topográfico) provoca um erro na determinação da altura de um ponto do terreno, que é o erro devido à curvatura da Terra, o erro de nível aparente (COMASTRI; TULER, 1999; TULER; SARAIVA, 2014). As variações das condições atmosféricas, tratada como refração atmosférica (cujas variáveis são pressão atmosférica, temperatura e umidade do ar) interferem na colimação e leituras feitas pelos equipamentos óticos, resultando em leituras refratadas de distância e diferenças de altitude (TULER; SARAIVA, 2016). A precisão dos levantamentos com os equipamentos GNSS e GPS (*Global Positioning System*) é afetada com os efeitos da ionosfera que causam atrasos nos sinais dos satélites (MONICO, 2008), o controle das mensagens de navegação com a determinação das coordenadas dos satélites (*Broadcast Ephemerides*) (SUCI; CARVALHO; COSTA, 2010) e a solução de ambiguidades, que é de fundamental importância em posicionamentos que requeiram alta precisão (MARQUES; MONICO; MARQUES, et al. 2014). Nos processos utilizados na observação das grandezas e os processos computacionais que se seguem são afetados por erros que tornam inexatos os valores finais tais como os erros de aproximação e estimativa, os erros acidentais e sistemáticos, o truncamento e o arredondamento, os operadores erro e desvio, a propagação das variâncias entre outros. (CASACA; MATOS; DIAS, 2017).

Para a determinação do erro altimétrico de fechamento deve-se conhecer a cota ou a altitude de um ponto da poligonal básica do caminhamento e calcular as demais cotas com as diferenças de nível conhecidas entre todos os seus pontos. A compensação do erro altimétrico de fechamento pode ser realizada pela distribuição nas diferenças de nível ou pela distribuição direta nas cotas. Consiste na divisão do erro altimétrico pelo número de vértices do polígono, somando-se ou subtraindo-se nas diferenças de nível ou nas cotas (COMASTRI; GRIPP, 1998).

2.4. Modelos digitais do terreno

As características geométricas e volume do terreno podem ser representados graficamente a partir do modelo de imagem 3D com parâmetros que caracterizam o terreno por meio da representação da elevação do terreno, a superfície, a inclinação, o aspecto, a curvatura e a área de influência, além de classificar as características do

terreno, tais como topos, bacias, união de rios, linhas de vale e bacias hidrográficas, canais, colinas e terraços, entre outros (POLIDORI; HAGE; VALERIANO, 2014; PEUCKER; DOUGLAS, 1975).

Segundo Assad e Sano (1998), o modelo numérico de terreno (MNT) ou modelo digital de elevação (MDE) está associado à altimetria do terreno, permitindo a representação tridimensional da superfície terrestre denominada representação do relevo. É um modelo que representa a superfície do terreno sem cobertura vegetal ou edificações (SANTOS; MEDEIROS; SANTOS et al., 2016).

Para Genu e Dematte (2010), a análise do terreno possibilita quantificar os componentes do relevo que afetam o desenvolvimento do solo e, conseqüentemente, a distribuição espacial dos seus atributos. Vários pesquisadores (Moore et al. (1993); Dobos et al. (2000); Lagacherie e Voltz (2000) apud. Genu e Dematte (2010)), vêm utilizando informações de elevação, declividade, orientação de vertentes e forma (concavidade e convexidade) como variáveis auxiliares na caracterização, mapeamento e previsão de propriedades do solo.

Calderano, Polivanov e Guerra et al. (2010) combinaram técnicas de mapeamento digital, produtos de sensoriamento remoto e modelo digital de elevação (MDE), com a utilização do geoprocessamento, no planejamento físico ambiental de paisagens rurais montanhosas.

Modelos digitais de terrenos podem conter dados obtidos de imagem de radar presentes nos satélites em órbita, como por exemplo, o radar ASTER e o SRTM. O ASTER é um sensor radar presente no satélite TERRA, constituído por sistemas de imageamento capazes de gerar um modelo digital de superfície (MDS) (VICENTE; SOUZA, 2010). Utilizando-se de imagens estereoscópicas, o MDS gerado apresenta resolução espacial de 1 segundo de arco (~30m no equador). O modelo GDEM (*Global Digital Elevation Model*), versão 2, possui uma acurácia planimétrica absoluta da ordem de 6 metros e uma acurácia vertical absoluta de cerca de 12 metros (TACHIKAWA; KABU; IWASAKI et al., 2011).

O SRTM é um radar com dados de modelo digital de superfície (MDS) produzidos originalmente pela NASA, possui uma acurácia vertical absoluta de 16 metros para a banda C e de 6 metros para a banda X, a acurácia planimétrica absoluta é da ordem de 20 metros na banda C e 15 metros para a banda X, utilizando um nível de confiança de 90%, de acordo com a *National Map Accuracy Standard* (NMAS) (FARR; ROSEN; CARO, et al. 2007; DLR, 2015; KOCH; HEIPKE; LOHMANN, 2002).

Com a utilização da grade de altimetria SRTM podem-se obter diversas variáveis fisiografias além da altimetria, como declividade e orientação de vertentes (VALERIANO, 2004 apud. BARROS; MOREIRA; RUDORFF et al., 2007).

2.5. Cálculo de volume de solo

O volume de solo pode ser calculado com a redução do complexo de áreas superficiais irregulares a formas geométricas regulares cuja equação paramétrica é conhecida (MANU; PLAVICHEANU; TIVIG et al. 2016), aplicando-se fórmulas geométricas diferentes tais como a fórmula de prisma, a fórmula de tronco de pirâmide e a fórmula prismoidal (BORGES, 1994).

Outra maneira de se calcular volume de solo é pelo método das alturas ponderadas. Este método baseia-se na divisão do terreno em uma malha regular e cada ponto desta malha tem a sua cota calculada por algum método de nivelamento. Então é definida a cota de escavação, ou seja, a cota em que o terreno deverá ficar após a retirada do material (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2007). A partir destas informações é possível calcular as alturas dos sólidos para o cálculo do volume.

Para Cerqueira (1985) outra maneira de se calcular volume de solo é pelo método das seções transversais. A aplicação desta fórmula supõe seções verticais planas paralelas entre si, espaçadas de uma distância "d". O volume será dado pela média das áreas das seções planas, multiplicada pela distância "d".

De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2007), uma metodologia de cálculo chamada de superfícies equidistantes, que na realidade segue o mesmo princípio do cálculo do método das seções transversais, porém agora ao invés de trabalhar com seções verticais, utilizam-se seções horizontais. Um exemplo de aplicação é o cálculo de volume de água em reservatórios de barragens, onde as superfícies paralelas são representadas pelas curvas de nível.

Segundo Borges (1994), para calcular o volume de solo pode se utilizar o diagrama de massas (ou de Brückner), que facilita sobremaneira a análise da distribuição dos materiais escavados. Essa distribuição corresponde a definir a origem e o destino dos solos e rochas objeto das operações de terraplanagem, com indicação de seus volumes, classificações e distâncias médias de transporte. Após calcular as áreas das seções transversais e os volumes dos prismóides, pode-se preparar uma tabela de volumes acumulados, que serve como base para construção do diagrama.

Para Manu; Plavicheanu; Tivig et al. (2016) o método fotogramétrico, sendo usado com sucesso em áreas inacessíveis e áreas de risco, e a digitalização a laser 3D para aquisição de dados geoespaciais retangulares são tecnologias relativamente novas na determinação de volumes.

O volume de solo também é calculado usando linhas de contorno do terreno e com o auxílio de *softwares* topográficos a partir de pontos coletados em levantamentos planialtimétricos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em imóvel rural localizado no município de Jales - SP, região de São José do Rio Preto - uma das quinze mesorregiões do Estado brasileiro de São Paulo (IBGE, 2017), conforme a Figura 1.

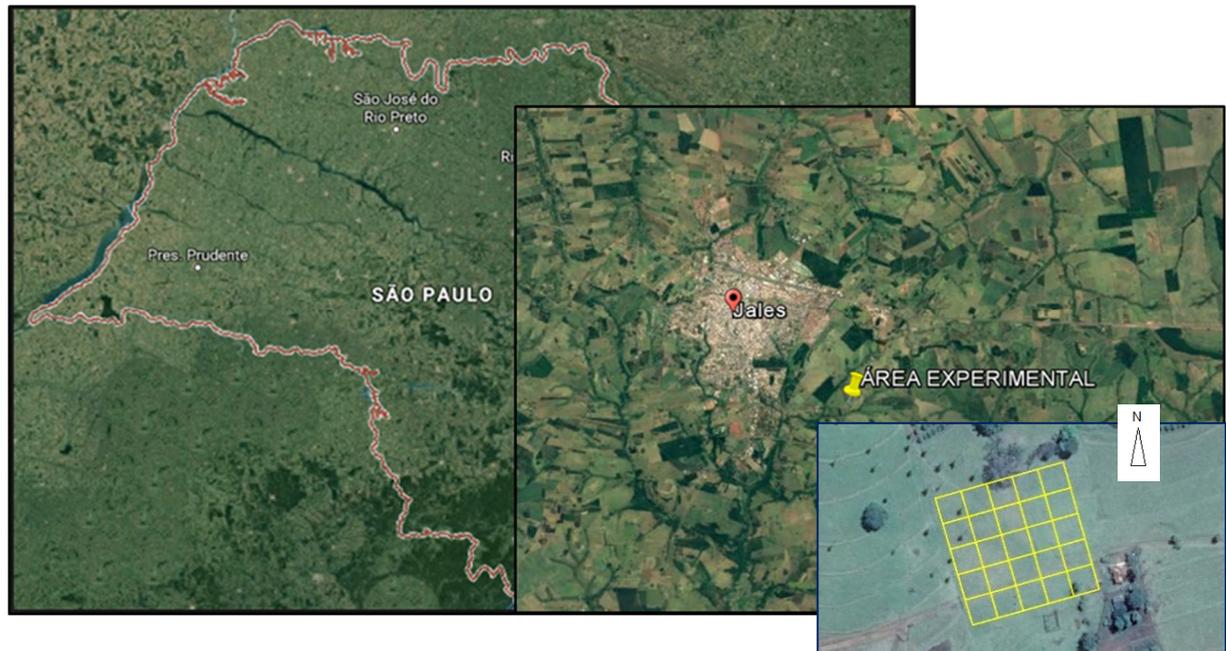


Figura 1: Mapa de localização da área experimental.
Fonte: Editada de Google Earth (2017)

Para atingir o objetivo do trabalho, implantou-se uma malha experimental localizada entre as latitudes $20^{\circ}17'36,59''$ e $20^{\circ}17'41,10''$ Sul e longitudes $50^{\circ}31'05,41''$ e $50^{\circ}31'08,30''$ Oeste (Figura 2). A malha foi construída em 1 hectare (100×100 m) de área de pastagem baixa, com materialização dos pontos na forma de piquetes de madeira cravados rente ao solo e coroados com limpeza da vegetação com raio de 25 cm, para todos os métodos de nivelamento. Os pontos foram materializados com espaçamento de 20×20 m, totalizando uma malha de 36 pontos. A locação dos pontos foi realizada em 11/02/2017 com o auxílio de um par de receptores GNSS *Spectra Precision SP-80*, com precisão nominal de $8 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm}$, com rádio interno de 2 *Whats* e um coletor de dados *Spectra Precision Mobile Mapper 20*, com a utilização da técnica de posicionamento relativo cinemático RTK com correção transmitida por rádio UHF.

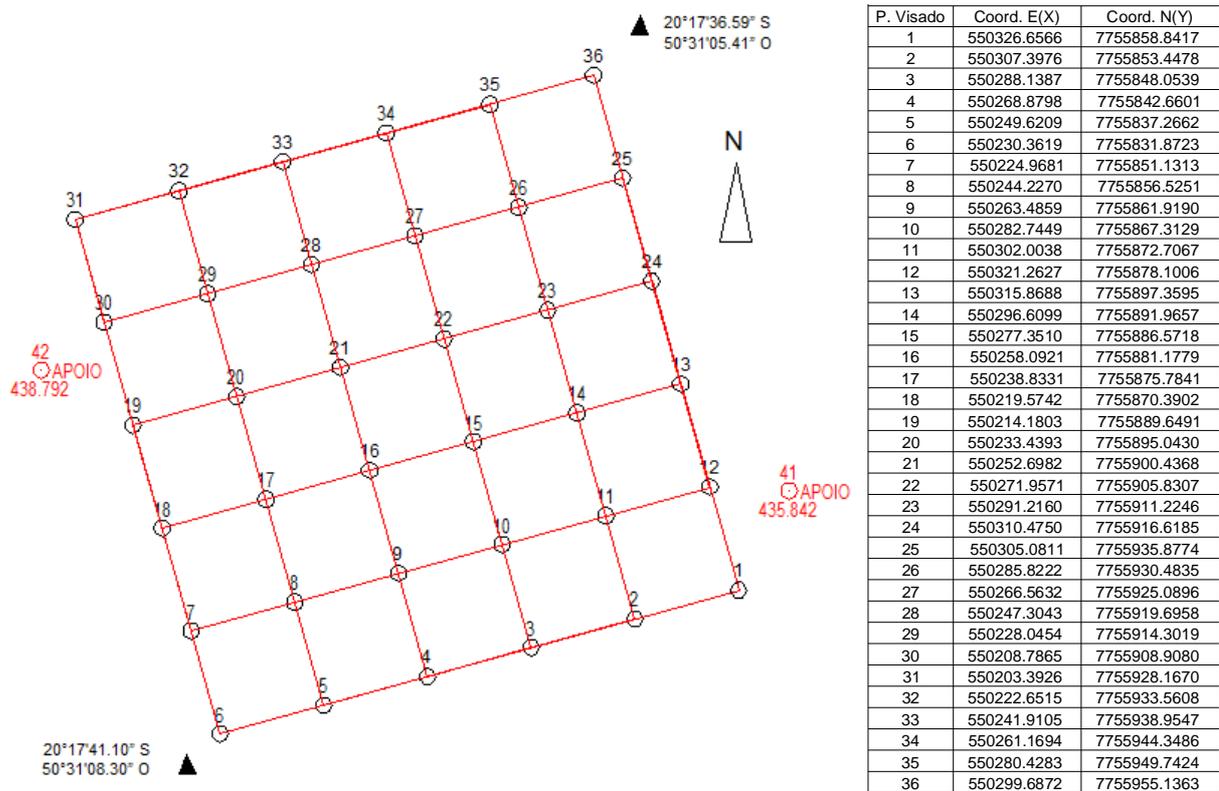


Figura 2: Detalhe da numeração de identificação dos pontos da malha e suas respectivas coordenadas UTM Zona 22K, Datum SIRGAS 2000.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Depois de locada a malha experimental foi realizado o nivelamento geométrico do ponto 36 ao 01 pela técnica de nivelamento composto (ESPARTEL, 1987), em que foram obtidas as cotas do terreno considerando o ponto 36 como a cota de referência (442,209 m). Foi utilizado o equipamento nível ótico automático *Geomax Zal-132*. Os dados do nivelamento geométrico foram utilizados como referência para a determinação dos erros proporcionados pelos demais métodos de coleta de dados.

Para a determinação dos erros foi realizado o contranivelamento do ponto 01 ao 36 da malha, com os seguintes métodos: (1) nivelamento geométrico; (2) nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NTRIP e tempo de ocupação de 4 s; (3) nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NTRIP e tempo de ocupação de 10 s; (4) nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via UHF com tempo de ocupação de 4 s; (5) nivelamento trigonométrico por irradiação com estação total; (6) nivelamento GPS por posicionamento absoluto – código C/A; (7) nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite ASTER; e (8)

nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite SRTM, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Métodos e equipamentos utilizados para os nivelamentos.

Método	Equipamento	Marca/Modelo	Especificações técnicas
Nivelamento geométrico (NG)	Nível automático (ótico)	Geomax Zal 132	Desvio padrão de 2,0mm km ⁻¹ (duplo nivelamento), classe 3, alta precisão
Nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático (RTK UHF)	Par de Receptores GNSS	Spectra Precision SP-80	240 canais GNSS; Precisão RTK rádio 2 Whats; canais UHF 410-470MHz
Nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático (RTK-NTRIP)	Receptor GNSS	Spectra Precision SP-80	240 canais GNSS; módulo 3.5G quad-band GSM / Penta-band UMTS (800/850/900/1900/2100MHz)
Nivelamento trigonométrico (ET)	Estação total	Pentax R-425 VN	Precisão angular de 5"
Nivelamento GPS por posicionamento absoluto	Receptor GPS	Garmin / eTrex 10	Código C/A
ASTER - Extração de cotas em Modelo digital do Terreno (MDT)	Satélite	NASA, METI and Japan Space Systems/Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)	ASTER modelo GDEM (Global Digital Elevation Model) Resolução espacial de 30 m
SRTM - Extração de cotas em Modelo digital do Terreno (MDT)	Satélite	NASA/ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	Sistema SIR-C americano, banda C, λ : 6,0 cm; e sistema X-SAR, banda X, λ : 3,1 cm. Resolução espacial de 90 m

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a determinação dos erros foi realizado o contranivelamento do ponto 01 ao 36 da malha, com os seguintes métodos: nivelamento geométrico; nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 4 s; nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 10 s; nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via UHF com tempo de ocupação de 4 s; nivelamento trigonométrico por irradiação com estação total; nivelamento GPS por posicionamento absoluto – código C/A; nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite ASTER; e nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite SRTM.

Com a finalidade de avaliar a precisão dos nivelamentos GNSS/GPS de forma mais prática, as coordenadas GNSS/GPS não foram convertidas em topográficas locais, procedimento este que seria o mais correto antes da realização dos nivelamentos.

O primeiro método de contranivelamento aplicado foi o nivelamento geométrico (NG), com a utilização do equipamento nível ótico automático *Geomax Zal-132*, pela técnica de nivelamento composto. Foram realizadas quatro leituras à ré e as respectivas mudanças de estação devido à acentuada declividade do terreno. Com a utilização de uma régua de alumínio de 4 metros (mira), prumada e colocada sobre os piquetes, foram efetuadas leituras diretas na graduação da mira e os valores foram anotados em caderneta de campo. Os valores das cotas referentes a cada ponto foram determinados de maneira indireta com as leituras da mira com o fio estadimétrico médio do equipamento. O cálculo das cotas foi realizado por meio da equação 01.

$$CO_{at} = CO_{ant} + L_{Ré} - L_{Vt}$$

Equação 01

em que:

CO_{at} - cota atual (m)

CO_{ant} - cota anterior (m)

$L_{Ré}$ - leitura à ré (m)

L_{Vt} - leitura à vante (m)

Em seguida, realizou-se o contranivelamento por GNSS por posicionamento relativo cinemático em tempo real com correção via UHF (RTK UHF), foram utilizados um par de receptores GNSS *Spectra Precision SP-80*, com coletor de dados *Spectra Precision Mobile Mapper 20*. O receptor GNSS base foi instalado sobre um tripé de alumínio, em um ponto remoto não materializado. A configuração do *rover* foi realizada com conexão de rádio interno UHF e ajustamento *in loco* com localização do ponto de apoio 41 (APOIO 41 da Figura 2). Com o apoio de um bipé de alumínio foi aprumado o equipamento GNSS *rover* na posição zenital sobre os piquetes, com permanência de ocupação de 4 s por ponto. Os equipamentos trabalharam com *status* fixo e latência de 1 s. As informações de coleta de dados foram armazenadas de forma direta na memória interna do equipamento.

Para o contranivelamento por GNSS por posicionamento relativo cinemático em tempo real com correção via NTRIP foi utilizado um receptor GNSS *Spectra*

Precision SP-80 rover e um coletor de dados *Mobile Mapper 20*. A configuração do equipamento GNSS foi feita por conexão de GSM interno, com utilização da rede de telefonia móvel. A conexão foi realizada diretamente com a base de monitoramento contínuo localizada na latitude S 20°25'40,02", longitude W 51°20'36,18" e altitude de 375,17 m. Foi realizado o ajustamento *in loco* do equipamento com localização do ponto de apoio 41 (APOIO P41 da Figura 2). Com o apoio de um bipé de alumínio, foi aprumado o equipamento GNSS *rover* na posição zenital sobre os piquetes. Os equipamentos trabalharam com *status* fixo e latência de 1 s. As informações de coleta de dados foram armazenadas de forma direta na memória interna do equipamento. Nessas mesmas configurações foram realizados os nivelamentos GNSS NTRIP com os intervalos de tempos de ocupação de 4 s (NTRIP4) e 10 s (NTRIP10) sobre cada ponto.

O contranivelamento por nivelamento trigonométrico com estação total (ET) foi realizado com o auxílio de uma estação total *Pentax R425-VN*. O equipamento foi instalado sobre um tripé de alumínio e estacionado sobre um ponto remoto não materializado, denominado ponto zero (P0). Este ponto não pertence à malha do experimento e foi posicionado em lugar estratégico, com visibilidade panorâmica em toda a área experimental. Para situar o equipamento no mesmo plano da malha foi arbitrado como leitura à ré o ponto de apoio 41 (APOIO P41 da Figura 2), e como primeira leitura à vante, para conferência de ajustamento, o ponto de apoio 42 (APOIO P42 da Figura 2). A técnica de levantamento planialtimétrico por irradiação foi empregada em todos os pontos (ABNT, 1994). Com o apoio de um bipé de alumínio foram aprumados os instrumentos bastão e prisma na posição zenital sobre os piquetes. As leituras foram feitas de forma direta através do EDM do equipamento e armazenados automaticamente em memória *flash* (cartão de memória).

Já para o contranivelamento pelo GPS por posicionamento absoluto – código C/A, foi utilizado o equipamento *Garmin eTrex-10* e os dados foram imediatamente coletados após o aparelho ser colocado sobre todos os piquetes de madeira na superfície do solo.

O contranivelamento pela imagem do satélite ASTER foi realizado com o auxílio da ferramenta *Add Surface Information* do *ArcGIS-10* utilizando os pontos da malha como máscara, para a extração das cotas sobre o modelo digital do terreno (MDT). O mesmo procedimento foi realizado para a o nivelamento a partir da imagem do satélite SRTM.

O nivelamento geométrico (NG) com nível classe 3 (alta precisão) foi adotado como testemunha para a comparação dos demais métodos aplicados no contranivelamento. A metodologia, de acordo com a ABNT (1994), foi de nivelamento de linhas (ou circuitos e seções) de classe IN Geométrico com tolerância de fechamento determinada conforme a equação 02.

$$ef = 12 \cdot \sqrt{k}$$

Equação 02

, em que:

ef - erro de fechamento (mm)

K - extensão nivelada (km), medida num único sentido.

Assim, o valor da tolerância de erro de fechamento altimétrico resultante foi de 10,04 mm km⁻¹. As variáveis avaliadas para a comparação quantitativa dos erros nos diferentes métodos foram erro absoluto total, erro médio e o volume de solo calculado da malha experimental. As variáveis subjetivas avaliadas para comparar os diferentes métodos foram o padrão dos traçados das curvas de nível e dos modelos digitais do terreno.

Para os cálculos de todas as variáveis, inicialmente foram determinadas as cotas dos pontos da malha por todos os métodos de contranivelamento e, em seguida, as diferenças de nível entre os pontos, pela equação 03.

$$DN = C_n - C_{(n-1)}$$

Equação 03

, em que:

DN – diferença de nível entre as cotas de vante e ré (m);

C_n – cota de vante (m);

C_(n-1) – cota de ré (m).

Assim, considerando o ponto 01 da malha como o de referência de nível (RN), cujo valor altimétrico é de 435,264 m (determinado por posicionamento relativo cinemático corrigido pela base NTRIP) foram efetuadas as correções das cotas dos pontos da malha a partir da RN (padronização das cotas) somando-se as diferenças de níveis calculadas pela equação 01.

A partir das cotas corrigidas determinou-se o erro absoluto total de cada método de nivelamento por meio da equação 04.

$$e = |DN_N + DN_{CN}|$$

Equação 04

, em que:

e - erro absoluto total (m);

DN_N - diferença de nível entre a cota do ponto 36 e 01 da malha obtida por nivelamento geométrico (m);

DN_{CN} - diferença de nível entre a cota do ponto 01 e 36 da malha, obtida por contranivelamento utilizando os diferentes métodos (m).

Já o erro médio foi determinado por meio da equação 05.

$$e_m = \frac{\sum |DNi_{NG} - DNi_{DM}|}{n}$$

Equação 05

, em que:

e_m - erro médio (m);

DNi_{NG} - diferença de nível "i" entre as cotas de vante e ré, obtidas pelo nivelamento geométrico (m);

DNi_{DM} - diferença de nível "i" entre as cotas de vante e ré, obtidas pelos diferentes métodos (m);

n - número de pontos da malha experimental.

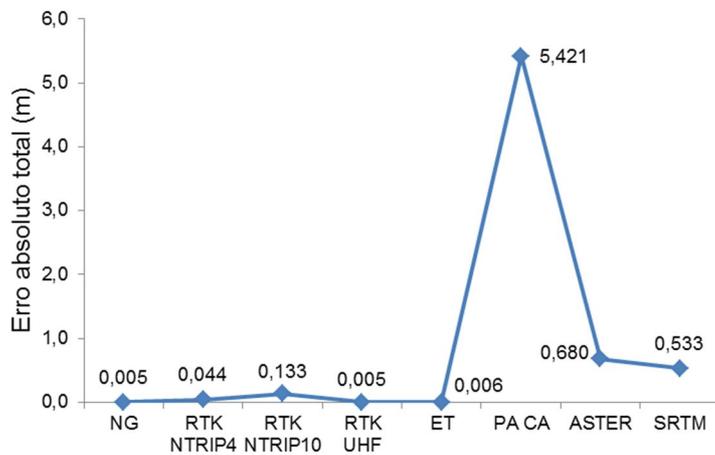
Após determinados os erros médios, foram calculadas as respectivas médias e os erros padrão das médias. A comparação entre os erros médios pelos diferentes métodos de nivelamento levou em consideração o critério de Gravetter e Wallnau (1995), em que a diferença estatística ocorre quando não há sobreposição entre os limites superiores e inferiores da média mais ou menos o erro padrão da média.

Com as cotas padronizadas nos diferentes métodos, realizou-se a interpolação pelo vizinho natural para a obtenção dos modelos digitais do terreno (MDT), a partir do qual, foram gerados os traçados das curvas de nível e determinados os volumes de solo da área estudada. Para a determinação dos volumes de solo utilizou-se como referência para o corte, a cota 433,00 m para todos os métodos de nivelamento.

Os *softwares* utilizados para coleta de dados nos equipamentos GNSS e estação total foram, respectivamente, o *CARLSON SuvCE* e o *PENTAX Powertopolite*. A interpolação e a triangulação de pontos, assim como as malhas de coordenadas, foram geradas no software *ArcGIS*. As curvas de nível foram processadas no software *TopoEVN*. Os modelos tridimensionais do terreno foram simulados no software *Surfer*. A determinação dos volumes foi realizada com o auxílio da ferramenta *VOLUME SURFACE* do software *ArcGIS*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados (Figura 3), os métodos de menor erro, depois do nivelamento geométrico (NG), foram os obtidos por nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático em tempo real com transmissão da correção via UHF (RTK UHF) e o por nivelamento trigonométrico com estação total (ET), onde os erros absolutos totais foram de 0,005 e 0,006 m, respectivamente. Assim, estes foram os únicos métodos que se enquadraram na classe de média precisão por apresentarem erros absolutos totais inferiores a 10 mm km^{-1} (ABNT, 1994).



Legenda

NG - nivelamento geométrico
 RTK NTRIP4 - nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NTRIP e tempo de ocupação de 4s
 RTK NTRIP10 - nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NTRIP e tempo de ocupação de 10s
 RTK UHF - nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via UHF com tempo de ocupação de 4s
 ET - nivelamento trigonométrico com estação total, por irradiação
 PA CA - nivelamento GPS por posicionamento absoluto – código C/A
 ASTER - nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite ASTER
 SRTM - nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite SRTM

Figura 3: Resultado do erro absoluto total dos diferentes métodos de contranivelamento, comparado com o nivelamento geométrico.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Todos os demais métodos apresentaram erros absolutos totais acima de 10 mm km^{-1} , sendo considerados de baixa precisão. O método de menor precisão foi o nivelamento GPS por posicionamento absoluto com o código C/A (PA CA), no qual o erro absoluto total foi de 5,421 m.

Outro fato relevante é que quando a correção do posicionamento foi realizada com base na rede NTRIP, independente do tempo de rastreamento de 4 ou 10 s, os erros absolutos totais foram superiores aos obtidos por meio de correção via UHF.

Estatisticamente, os métodos considerados de média precisão altimétrica, que resultaram em desvio padrão médio menor que 10 mm km^{-1} , conforme norma técnica regente, NBR-13.133 – Execução de Levantamento Topográfico foram respectivamente, o nivelamento geométrico, o nivelamento trigonométrico e o nivelamento GNSS com posicionamento relativo RTK UHF. Os demais métodos de nivelamento foram considerados de baixa precisão altimétrica, que resultaram em desvio padrão médio maior que 10 mm km^{-1} .

Os métodos de menor erro médio, em relação ao método do nivelamento geométrico, foram o nivelamento trigonométrico com estação total (ET) e o nivelamento GNSS com posicionamento relativo cinemático em tempo real, com correção UHF (RTK UHF), sendo de $0,003 \pm 0,001$ e $0,005 \pm 0,001$ m, respectivamente (Figura 4).

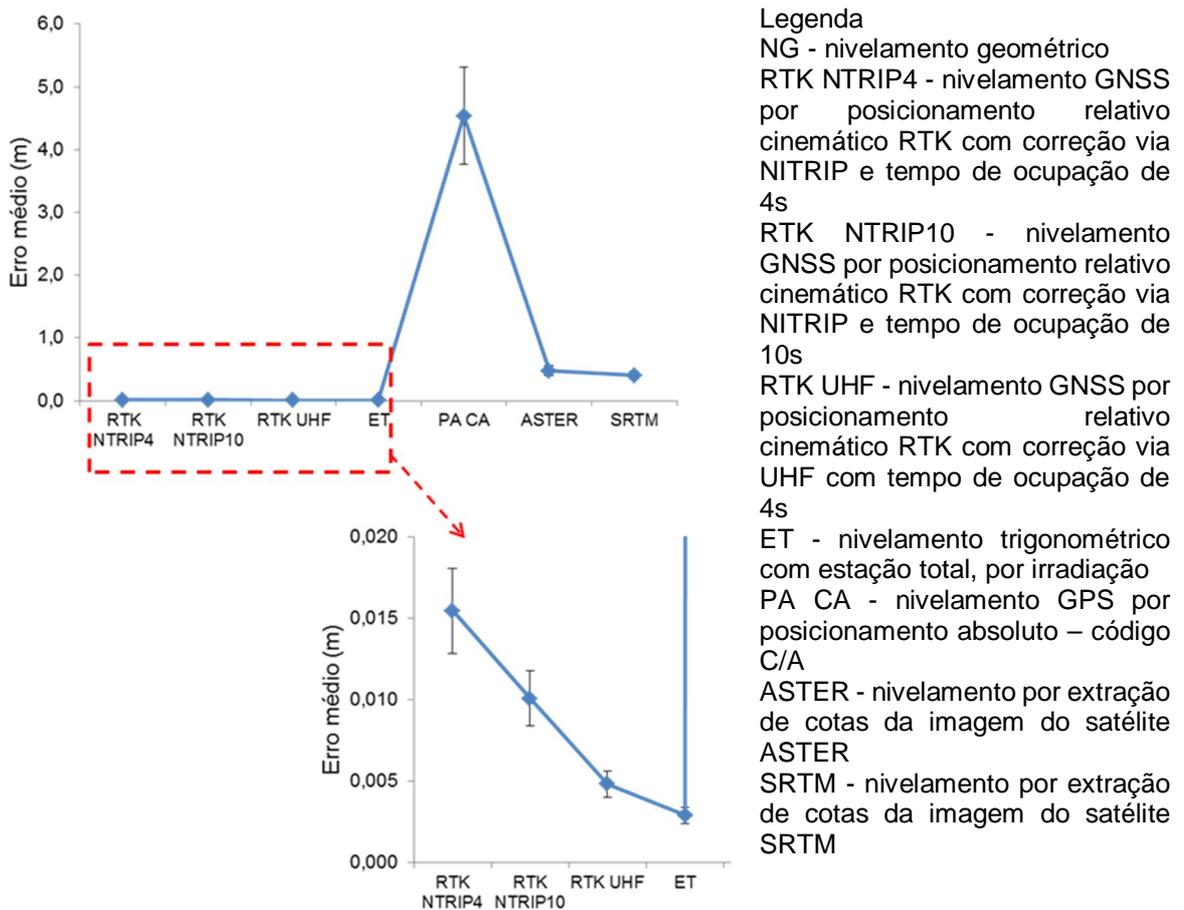


Figura 4: Resultado do erro médio nos diferentes métodos de contranivelamento, comparado com o nivelamento geométrico.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O método de nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático em tempo real com correção NTRIP (RTK NTRIP10), com tempo de ocupação de 10 s por ponto, apresentou erro médio de $0,010\pm 0,002$ m, se enquadrando na classe de média precisão, de acordo com a tolerância de erro de fechamento (*Equação 02*). Já com o mesmo método, mas com tempo de 4 s (RTK NTRIP4), apresentou erro médio de $0,015\pm 0,003$ m, se enquadrando na classe de baixa precisão. Pela inconstância dos sinais de telefonia celular móvel no território brasileiro o sistema GPRS não colaborou para o equilíbrio das transmissões de dados interferindo circunstancialmente nos resultados obtidos, quando o tempo de ocupação foi menor. Os métodos de nivelamento por imagem de satélite proporcionaram erros médios variando de $0,405\pm 0,069$ m para o SRTM e de $0,475\pm 0,080$ m para o ASTER, enquanto o nivelamento GPS posicionamento absoluto com código C/A foi o de maior erro médio ($4,539\pm 0,767$ m).

Com relação ao traçado das curvas de nível do terreno (Figuras 5 e 6), observou-se que os métodos de nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK NTRIP4, RTK NTRIP10 e RTK UHF) e o método de nivelamento trigonométrico (ET) foram os que apresentaram maior semelhança ao traçado obtido por nivelamento geométrico.

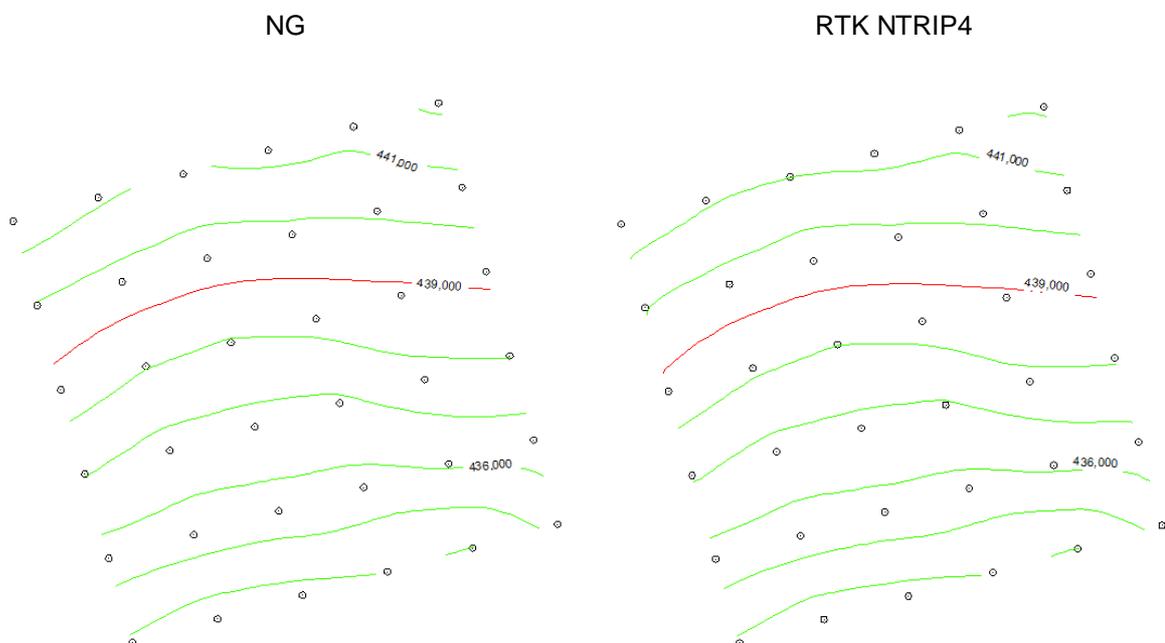


Figura 5: Detalhe do traçado das curvas de nível do terreno a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento: nivelamento geométrico (NG); e nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NTRIP e tempo de ocupação de 4 s (RTK NTRIP4).

Fonte: Elaborada pelo autor.

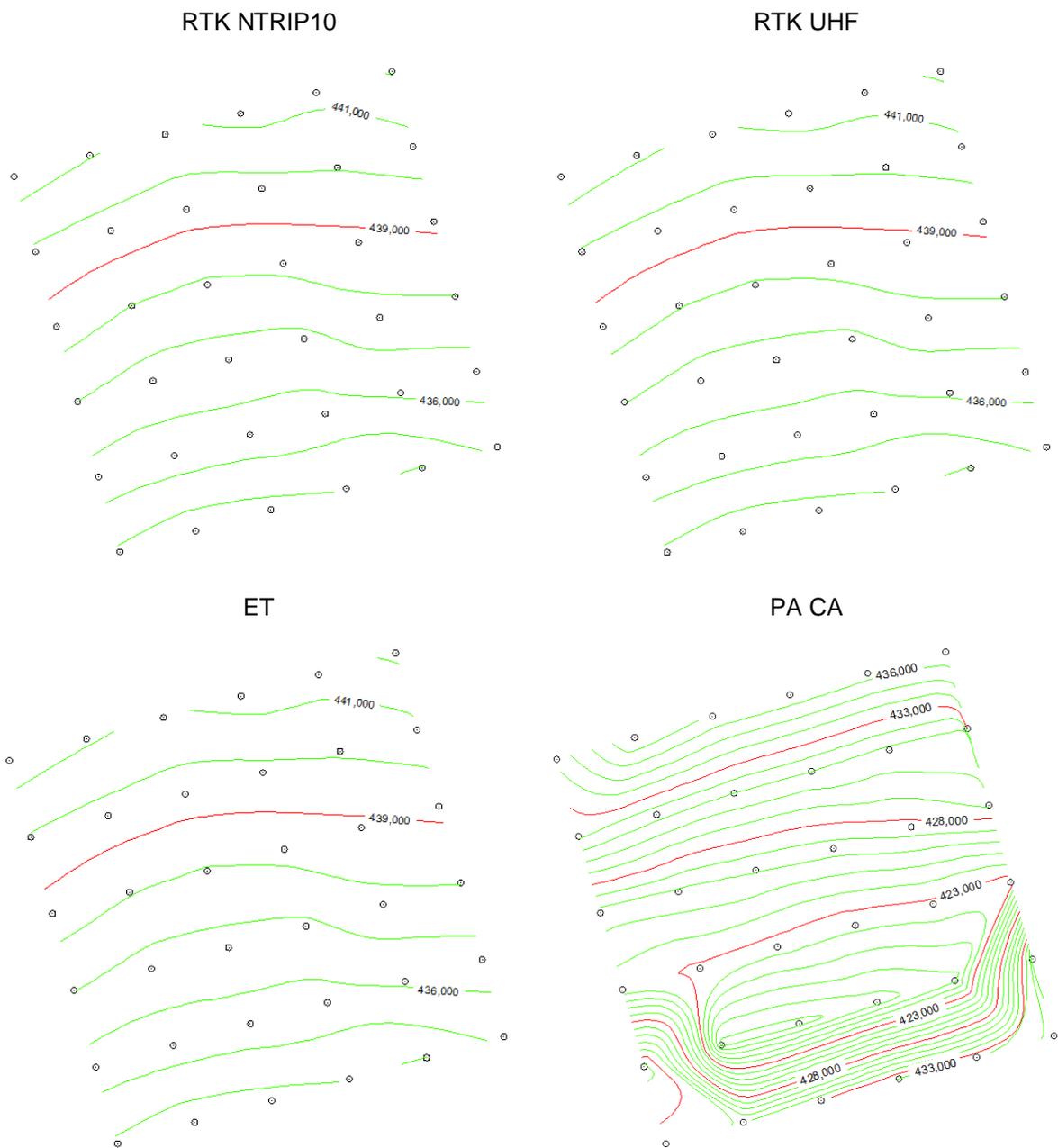


Figura 6: Detalhe do traçado das curvas de nível do terreno a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento: nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via NITRIP e tempo de ocupação de 10 s (RTK NTRIP10); nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK com correção via UHF com tempo de ocupação de 4 s (RTK UHF); nivelamento trigonométrico com estação total, por irradiação (ET); nivelamento GPS por posicionamento absoluto – código C/A (PA CA).

Fonte: Elaborada pelo autor.

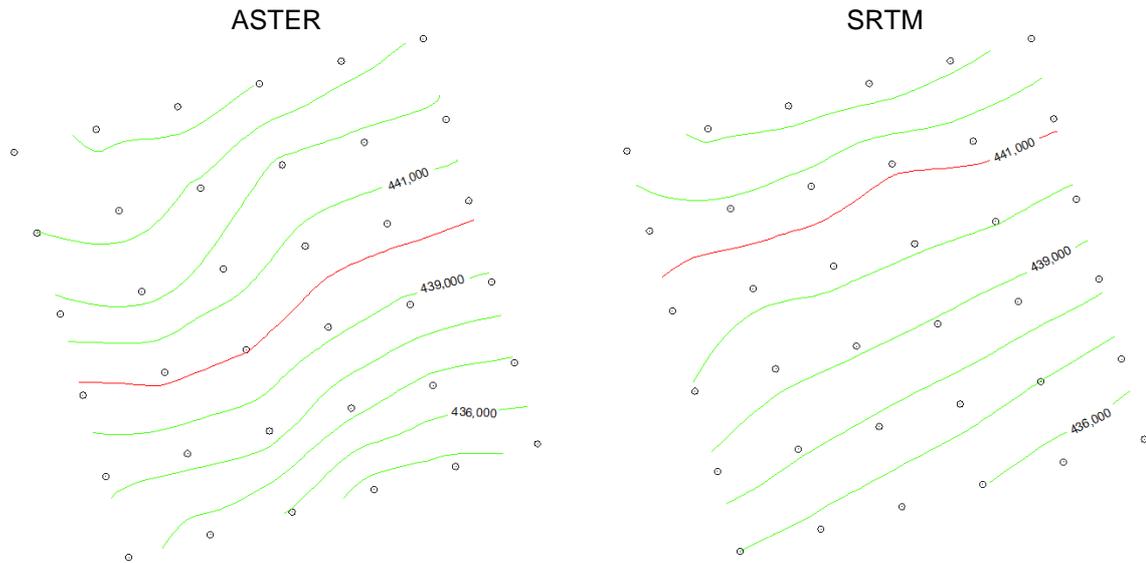


Figura 7: Detalhe do traçado das curvas de nível do terreno a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento: nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite ASTER (ASTER); e nivelamento por extração de cotas da imagem do satélite SRTM (SRTM).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo Rodrigues, Cardoso e Gomes et al. (2006), as estações totais com o uso do EDM oferecem precisões milimétricas com a utilização de recurso laser e cálculo direto de coordenadas e cotas, o que explica os resultados obtidos no traçado das curvas de nível geradas com os dados do nivelamento trigonométrico (ET). Já a precisão do nivelamento GNSS pode ser explicada pelas precisões milimétricas proporcionadas pela solução das ambiguidades observáveis nas ondas portadoras L1 e L1/L2, operando com um par de receptores GNSS com posicionamento relativo RTK e com transmissão das correções via rádio UHF, *bluetooth* ou GSM (ALVES; GANDRA; ALBUQUERQUE et al., 2015).

Para os métodos de nivelamento que utilizaram as imagens dos satélites ASTER e SRTM, embora apresentassem relativo desvio do traçado das curvas de nível quando comparados com o método de nivelamento geométrico (NG), verificou-se que mantiveram a mesma direção do declive do terreno.

As curvas de nível concêntricas com os valores mais elevados no centro representam montanhas ou montes. Se no centro estiverem ao contrário, com valores mais baixos, então temos uma área deprimida (GOMES, 2007). Portanto, o método de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com o código C/A não descreveu o traçado das curvas de nível como a realidade física do terreno devido à sua menor

acurácia e alguns erros decorrentes do posicionamento GPS (PA CA) (REIS; CAMARGO; TOMMASELLI, 2011).

A triangulação e interpolação dos pontos da malha apresentaram parâmetros para examinar que quanto maior a sinuosidade do traçado das curvas de nível mais irregular é a superfície do terreno. Quando o esboço apresenta maior distanciamento entre as curvas de nível avalia-se a moderação nas diferenças de nível o que torna o perfil menos íngreme em relação ao declive da superfície (GOMES, 2007).

Nas Figuras 7 e 8 é possível comparar tridimensionalmente os modelos digitais de terreno (MDT) obtidos pelos diferentes métodos de nivelamento do terreno avaliados.

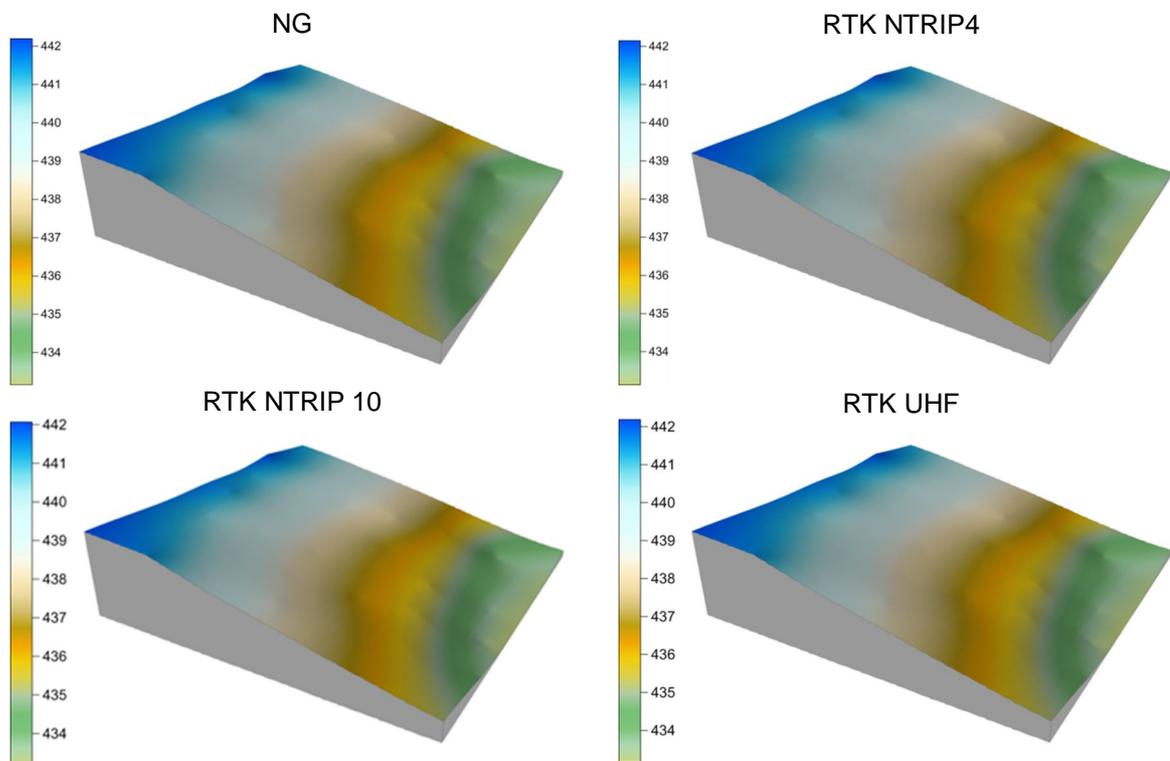


Figura 8: Comparação tridimensional em modelo digital de terreno (MDT), a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento (escala em metros).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pôde-se verificar que os métodos de nivelamento trigonométrico com estação total (ET) e GNSS (RTK UHF, RTK NTRIP4 e RTK NTRIP10) foram os que melhor representaram o terreno em comparação com o método de nivelamento geométrico (NG). A análise da escala cromática no espectro de cores fornecida pela imagem em banda nos modelos digitais do terreno (MDT), para ambos os métodos utilizados,

apresentou percepção direta próxima ao modelo gerado com o nivelamento geométrico (NG).

A modelagem de imagens apresentada nos modelos digitais de terreno (MDT) demonstrou a qualidade dos trabalhos efetuados com a escolha dos recursos de imagem de satélite SRTM e ASTER. As imagens de satélite apresentaram uma ligeira inclinação da direção do declive com melhor equivalência nos padrões de imagem SRTM em relação ao nivelamento geométrico (NG).

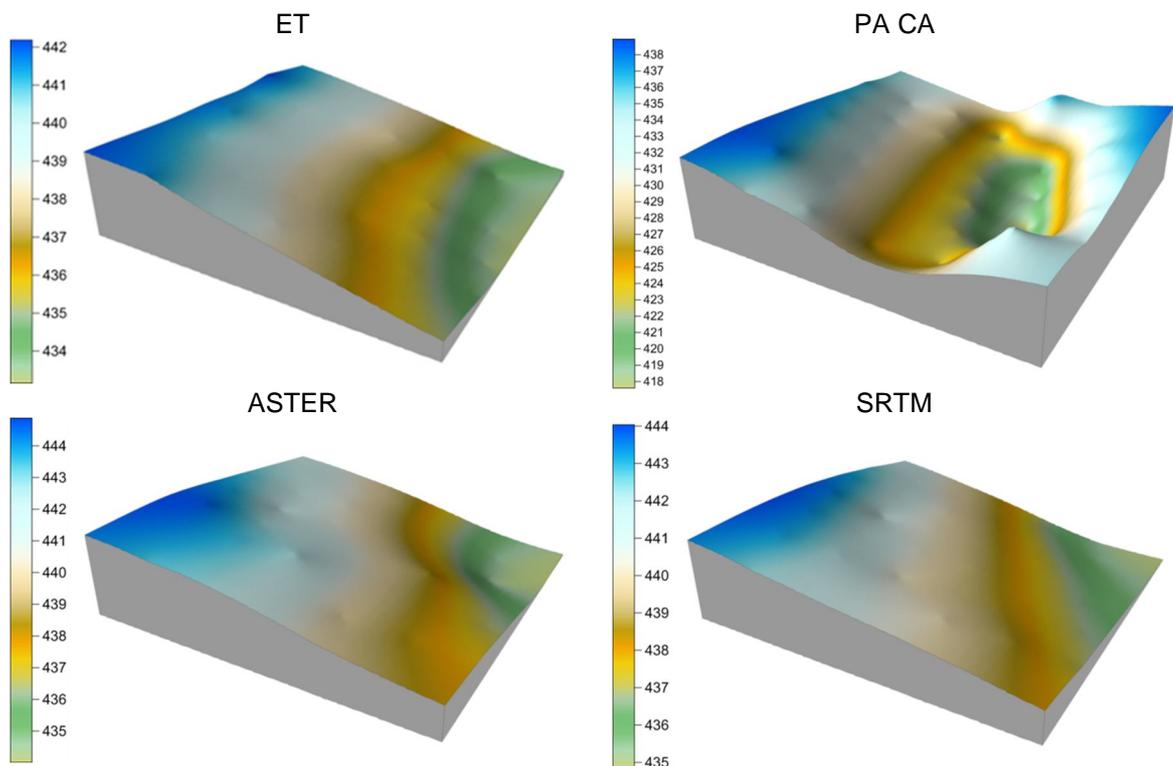


Figura 9: Comparação tridimensional em modelo digital de terreno (MDT), a partir de cotas obtidas por diferentes métodos de nivelamento (escala em metros).

Fonte: Elaborada pelo autor.

No método de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com o código C/A foi possível observar que a modelagem digital está fora de parâmetro dos métodos relacionados, descaracterizando totalmente o perfil do terreno. Tal fato se deve a baixa precisão e acurácia dos receptores GPS de navegação que rastreiam apenas o código C/A. Os GPS por posicionamento absoluto com o código C/A são destinados a levantamentos expeditos que requerem precisão horizontal da ordem de 10 m, no nível de probabilidade de 95% (MONICO, 2008). Para Franco (2009) os receptores

GPS de navegação não oferecem precisão suficiente e não são recomendados para levantamentos geodésicos de precisão, pois não fornecem garantia de exatidão.

O volume de solo determinado pelo método de nivelamento geométrico (NG) foi de 46.805 m³ (Figura 10). Por meio dos dados do levantamento obtidos pelo método de nivelamento trigonométrico com estação total (ET) foi calculado o volume de 46.764 m³. Com os dados do método de nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático com RTK UHF calculou-se o volume de 46.707 m³ de solo. Esses resultados apresentaram valores similares em comparação ao valor calculado com os dados do método de nivelamento geométrico (NG).

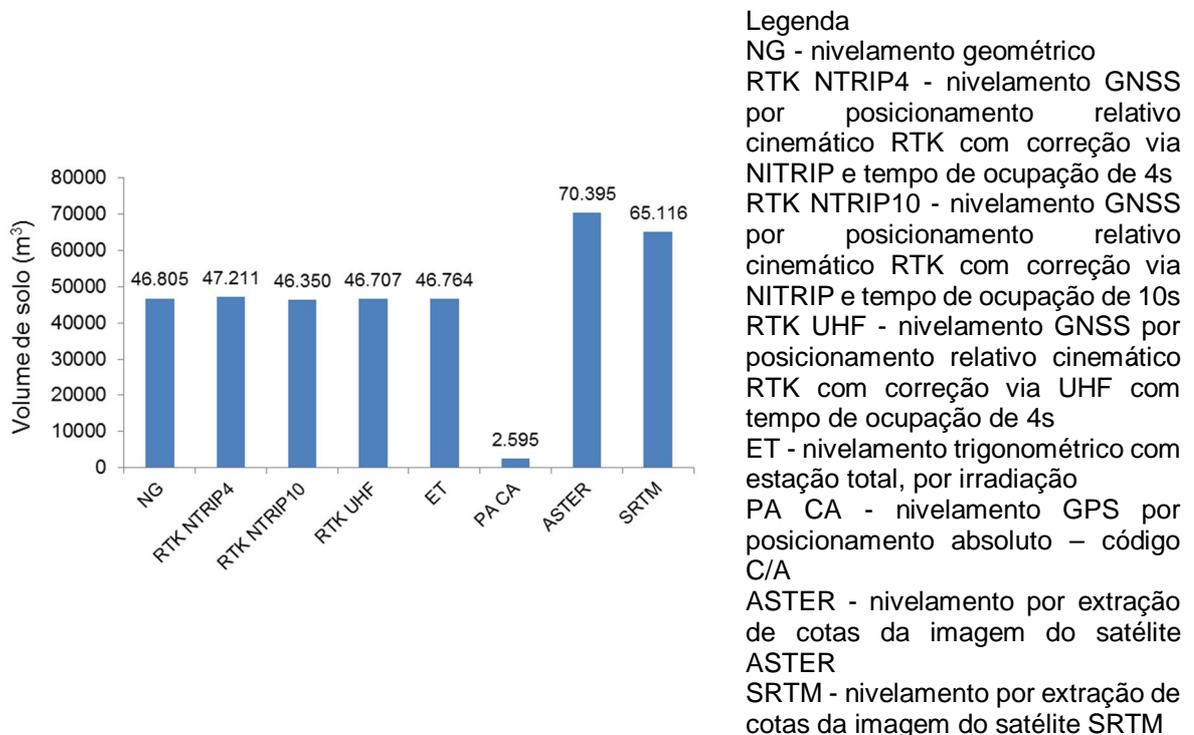


Figura 10: Resultado do volume de solo obtido nos diferentes métodos de nivelamento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a utilização do método de nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK NTRIP não se observou equivalência nos resultados das comparações volumétricas com o método de nivelamento geométrico (NG).

Na escala de volume os resultados podem ser exorbitantes quando se aumentam valores em uma de suas dimensões lineares. Partindo de uma escala linear para uma escala de volume multiplicando-se 3x a escala linear (3D). Portanto as barras do gráfico (NTRIP4 e NTRIP10) podem se tornar maiores quanto maior a área devido à variação gradativa das cotas observadas.

Os dados de satélite SRTM possuem um erro altimétrico menor quando comparado com ASTER (BIFFI; JARENKOW; FRANCHINI et al., 2013). Com as imagens SRTM obteve-se volume de 65.116 m³, valor convenientemente mais aproximado ao resultado determinado pelo nivelamento geométrico (NG), quando a comparação envolve os dados de imagem de satélite.

O método de menor precisão foi o de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com código C/A, que estimou um volume na mesma área, de 2.595 m³, que equivale a apenas 5,54% do resultado obtido pelo método de nivelamento geométrico (NG). O resultado comparativo foi significativamente discrepante, o que preocupa, já que a utilização deste tipo de equipamento é muito comum por profissionais relacionados a trabalhos ambientais, por ser de fácil uso e de baixo custo (KRUEGER; TRANCHES, 2006).

Diante dos resultados, na determinação do volume de solo recomenda-se o método de nivelamento trigonométrico com estação total (ET) para tolerância de erros abaixo de 0,1%. Mas se o limite de erro for de até 0,5%, os resultados evidenciaram que o método por nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK UHF pode ser utilizados, mesmo sem a conversão para coordenadas topográficas locais. O uso de imagens de satélite resultou em erros variando de 39 a 50% enquanto o método de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com código C/A resultou em erro de cerca de 95% na determinação do volume de solo.

5. CONCLUSÕES

Os métodos que resultaram em menores erros totais em nivelamentos, quando comparados com o nivelamento geométrico, foram o nivelamento GNSS por posicionamento relativo RTK UHF e o nivelamento trigonométrico, se enquadrando na classe de média precisão. Os métodos de maior erro total foram os nivelamentos por imagem de satélite SRTM e ASTER, e o nivelamento com GPS por posicionamento absoluto com código C/A, não recomendando estes métodos em caso de necessidade de precisão topográfica.

Os métodos de nivelamento trigonométrico e nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático apresentaram ótimo desempenho no traçado das curvas de nível, apresentando-se semelhantes ao do obtido por nivelamento geométrico. Entretanto, não é recomendado o método de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com código C/A para o traçado de curvas de nível. E se o objetivo é de obter parâmetros do padrão de declive do terreno, as imagens dos satélites SRTM e ASTER, podem ser utilizadas.

Para a determinação do volume de solo, considerando a impossibilidade de realizar o método de nivelamento geométrico, para erros abaixo de 0,1% recomenda-se o método de nivelamento trigonométrico. Mas se o limite de erro for de até 0,5%, recomenda-se o método de nivelamento GNSS por posicionamento relativo cinemático RTK UHF. O uso de imagens de satélite resultou em erros variando de 39 a 50%, assim como o método de nivelamento GPS por posicionamento absoluto com código C/A resultou em erro de cerca de 95%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133** – Norma de Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994.
- ALMEIDA, A. S., Topografia, Rio de Janeiro, **UFRJ**, 1988, 95p.
- ALVES, D.C.L. GANDRA, T.B.R.; ALBUQUERQUE, M.G. et al. Metodologia de Coleta e Tratamento de Dados Topográficos para Elaboração de Modelos Digitais de Elevação em Áreas Urbanas. **Scientia Plena**, Rio Grande - RS, v.11, n.2, p.1-7, 2015.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E. Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. Brasília: **EMBRAPA**, 1998. 434p.
- BARROS, M.A.; MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T. Dados Interferométricos para Modelagem Topográfica e Caracterização Ambiental do Café em Escala Municipal. **Soc. nat. (Online)**, Uberlândia, v.19, n.2, p.33-50, dez.2007.
- BHERING, S.B.; CHAGAS, C.S.; CARVALHO, W. et al. Geotecnologias Aplicadas ao Zoneamento Agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul. **Soc. nat.**, Uberlândia, v.26, n.1, p.171-187, abr.2014.
- BIFFI, L.J.; JARENKOW, G.L.; FRANCHINI, R.L. et al. Comparação de Modelos Digitais de Elevação de SRTM e ASTER com Modelo de Elevação de Grande Escala do Município de Lages - SC. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p.4647-4652, 2013.
- BORGES, A.C. Topografia. v.1. São Paulo: **Edgard Blucher**, 1977.
- BORGES, A. C. Topografia aplicada à Engenharia Civil. v.2, São Paulo: **Blucher**, 1994, 232p.
- BRUM, E.V.P. Verificação e Classificação de Níveis de Acordo com Normas Internacionais. 2005. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CALDERANO, B.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T. et al. Estudo Geoambiental do Município de Bom Jardim - RJ, com Suporte de Geotecnologias: Subsídios ao Planejamento de Paisagens Rurais Montanhosas. **Sociedade & Natureza**, v.22, p.55-73, 2010.
- CARDÃO, C., Topografia, 4ed, Belo Horizonte: **UFMG**, 1970, 512p.
- CARVALHO, T.M.; BAYER, M. Utilização dos Produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no Mapeamento Geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, 2008.

CASACA, J.M.; MATOS, J.L.; DIAS, J.M.B. Topografia Geral, 4ed, Rio de Janeiro: **LTC**, 2017. 208p.

CASTILHO, S.D.; FRANZOSO, L.F.F. Análise de Ferramentas e Processos Utilizados em Levantamento Georreferenciado. **Retec - Revista de Tecnologias**, Ourinhos - SP, v.7, n.1, p.101-114, 2014.

CERQUEIRA, F.C. Programa para Cálculo de Volumes de Terraplenagem dos Projetos de Estradas. **Unifor – Revista Tecnologia**. Fortaleza - CE, p.27-34, 1985.

COMASTRI, J.A.; GRIPP, J. Topografia Aplicada; Medição, Divisão e Demarcação, Viçosa: **UFV**, 1998. 203p.

COMASTRI, J.A.; TULER, J.C. Topografia; Altimetria, 3ed, Viçosa: **UFV**, 1999. 200p.

DLR. 2015. STRM Band-X Parameter. **German Aerospace Center**. Disponível em: http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5515/9214_read-17716/ Acesso em 04 mai.2017.

DOMINGUES, F.A.A. Topografia e Astronomia de Posição para Engenheiros e Arquitetos, São Paulo: **McGraw-Hill**, 1979. 406p.

DPI – Divisão de Processamento de Imagens. **INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html Acesso em 03 mai.2017.

ELLIS, M.A.; BARNES, J.B. A Global Perspective on the Topographic Response to Fault Growth. **Geosphere**. 11, 4, 1008-1023, Aug.

ESPARTEL, L. Curso de Topografia. 9ed. Rio de Janeiro, **Globo**, 1987. 655p.

FARAH, T.T.F.Q.; SEIXAS, A. Automação do Procedimento de Campo com o Emprego de Estação Total para o Levantamento e Locação de Obras da Construção Civil. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, UFP. Recife - PE, 2010.

FARR, T.G., ROSEN, P.A., CARO, E., et al. "The Shuttle Radar Topography Mission." **Reviews of Geophysics** 45 (2): RG2004. 2007.

FITZ, P.R. Cartografia básica. **Oficina de Textos**, São Paulo, 2008.

FLAUZINO, F.S.; SILVA, M.K.A.; NISHIYAMA, L. et al. Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Soc. nat. (Online)**, Uberlândia, v.22, n.1, p.75-91, abr.2010.

FONTANA, S. P. GPS: A Navegação do Futuro. 2ed, Porto Alegre: **Mercado Aberto**, 2002, 304p.

FRANCO, T.C.R. Análise da precisão no posicionamento com um receptor GPS de navegação. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre - MG, v.1, n.3, p.79-86, dez.2009.

FREITAS, S.R.C.; BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. **IGeS Bulletin N**, p. 47-62, 1999.

GENU, A.M.; DEMATTE, J.A.M. Informações Espectroeletrônicas e Topográficas na Determinação de Teores de Componentes do Solo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.157-164, 2010.

GOMES, L.N.; CARDOSO, L.G. Modelagem Numérica da Superfície na Geração da Planialtimetria Segundo Dados de Quatro Equipamentos Topográficos. Faculdade de Ciências Agrônomicas, **UNESP**. Irriga Botucatu, v.13, n.1, p.81-91, jan.-mar.2008.

GOMES, P.T. Formas de Relevo e Curvas de Nível. **Geographicae**, 2007. Disponível em <https://geographicae.wordpress.com/2007/06/09/formas-de-relevo-e-curvas-de-nivel> Acesso em 05 mai.2017.

GOMES, R.H.; SANTOS, A.P.; POZ, W.R.D. et al. Comparação do Nivelamento Trigonométrico, pelo Método *Leap-Frog* Utilizando Instrumentos de Média Precisão, com o Nivelamento Geométrico de Precisão. **V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento**, Gramado - RS, p.1-9, ago.2014.

GRAVETTER, F. J.; WALLNAU, L. B. Statistics for the Behavioral Sciences, 2ed. St. Paul: **West Publishing**, 1995. 429p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=354980> Acesso em: 02 mai.2017.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE atualiza informações da Rede Altimétrica de Alta Precisão. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2011/06/ibge-atualiza-informacoes-da-rede-altimetrica-de-alta-precisao> Acesso em: 30 abr.2017.

KOCH, A.; HEIPKE, C.; LOHMANN, P. – Analysis of SRTM DTM Methodology and Practical Results. ISPRS, Commission IV, WG IV/6. **Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications**. Ottawa, 2002.6p.

KRUEGER, C.P.; TRANCHES, S. Verificação da Possibilidade em se Realizar Georreferenciamento de Imóveis Rurais Através de Observações da Onda Portadora L1 Coletadas por meio de Receptores GPS de Navegação. **COBRAC 2006 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. UFSC. Florianópolis, 2006.

KRZYŻEK, R. Mathematical Analysis of the Algorithms Used in Modernized Methods of Building Measurements with RTN GNSS Technology. **Bol. Ciênc. Geod.** Curitiba, v.21, n.4, p.848-866, dez.2015.

LOCH, C., CORDINI, J. Topografia Contemporânea – Planimetria. Florianópolis. **UFSC**, 2000.

MACHADO, W. C., Solução Rápida das Ambiguidades GPS para Aplicações no Posicionamento Relativo de Linhas de Base Curtas. 2002.

MANU, C.S.; PLAVICHEANU, S.; TIVIG, D.F. et al. Topography Applications in Surface Minninc. **Revista Minelor / Mining Revue**. 22, 2, 25-30, June 2016.

MARQUES, H.A.; MONICO, J.F.G.; MARQUES, H.A.S. et al. Análise dos Efeitos Ionosféricos de Ordem Superior no Ciclo Solar 24 e Influência no Posicionamento GNSS Absoluto. **Boletim de Ciências Geodésicas [on line]** out.2014.

MATSUOKA, M.T. Influência de Diferentes Condições da Ionosfera no Posicionamento por Ponto com GPS: Avaliação na Região Brasileira. 2007. 264p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas), **UNESP**, Presidente Prudente.

MCCORMAC, J.; SARASUA, W.; DAVIS, W., Topografia, 6ed., **LTC**, 2016. 428p.

MCCORMAC, JACK. Topografia, 5ª edição. Rio de Janeiro, **LTC**, 2006.

MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. 2ed. Rev. Atual. Brasília - DF. **Embrapa Informação Tecnológica**, 2010. 425p.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2ed. São Paulo: **UNESP**, 2008. 478p.

MOREIRA, R.M.; FREITAS, S.R.C. Conexão de Sistemas Verticais de Referência Locais ao Sistema Geodésico Brasileiro com Base em um Sistema Vertical de Referência Global. **Bol. Ciênc. Geod**, Curitiba, v.22, n.2, p. 232-247, jun.2016.

MUNDOGEO REVISTA. **Tecnologia NTRIP**. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2009/07/16/tecnologia-ntrip> Acesso em 04 mai.2017.

NASA - United States National Aeronautics and Space Administration. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Pasadena: NASA, 2000. Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> Acesso em: 21 nov.2016.

NASA - United States National Aeronautics and Space Administration; METI - Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan. **ASTER Global Digital Elevation Map Announcement**. Pasadena: NASA, 2010. Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> Acesso em: 20 nov.2016.

PEUCKER, T. K., DOUGLAS, D.H. Detection of Surface-Specific Points by Local Parallel Processing of Discrete Terrain Elevation Data, **Comput. Vision, Graphics, Image Processing**, v.4, p.375-387, 1975.

POLIDORI, L.; HAGE, M.; VALERIANO, M.M. Digital Elevation Model Validation with no Ground Control: Application to the Topodata DEM In Brazil. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba, v.20, n.2, p.467-479, jun.2014.

REIS, T.T.; CAMARGO, P.O.; TOMMASELLI, A.M.G. Sincronismo de Dispositivos para o Georreferenciamento de Imagens Digitais. **Bol. Ciênc. Geod. (Online)**, Curitiba, v.17, n.3, p.317-339, set.2011.

RODRIGUES, V.A.; CARDOSO L.G.; GOMES L.N. et al. Receptores GPS de Três Precisões e Estação Total na Caracterização de Cotas Básicas para Projetos Rurais. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.6, n.1, p.208-214, abr.2006.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p.81-90, 2011.

SANTOS, A.P.; MEDEIROS, N.G; SANTOS, G.R. et al. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o Uso de Feições Lineares. **Bol. Ciênc. Geod**, Curitiba, v.22, n.1, p.157-174, mar.2016.

SANTOS, D.P.; FAGGION, P.L.; VEIGA, L.A.K. Transporte de Altitude para o Pico do Camapuã Utilizando Nivelamento Trigonométrico Método *Leap-Frog*. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.17, n.2, 2011.

SEIXAS, A.; GAMA, L.F.; MORAES, J.N. et al. O Estabelecimento de Padrões de Referência Altimétrica Utilizando o Nivelamento Geométrico para a Definição de Alvos Altos e Inacessíveis. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba, v.20, n.2, p.388-410, jun.2014.

SILVA, I.F.T.; FREITAS, A.L.B.; MAGALHÃES, W.G. et al. Noções Básicas de Cartografia. **IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro, 1998.

SILVEIRA, C.T., FIORI, A.P.; FERREIRA, A.M. et al. Emprego de Atributos Topográficos no Mapeamento da Susceptibilidade a Processos Geoambientais na Bacia do Rio Jacareí, Paraná. **Soc. Nat.**, Uberlândia, v.25, n.3, p.623-639, dez.2013.

SILVEIRA, R.M.P.; SILVEIRA, C.T. Análise Comparativa Entre Modelos Digitais de Elevação com Distintas Características de Processamento e Aquisição. **Boletim de Geografia**. 33, 106-121, Sept.2, 2015.

SUCI, F.M.; CARVALHO, A.S.; COSTA, M.F. Influência das Efemérides Transmitidas e Precisas no Transporte de Coordenadas. **Revista Agrogeoambiental**, v.2, n.1, 2010.

TACHIKAWA, T.; KABU, M.; IWASAKI, A. et al. ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summary of Validation Results. **NASA**, 2011. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70005960> Acesso em 05 mai.2017.

TEDESCHI, A.L.; FAGGION, P.L.; ANDOLFATO, S.H.D. Validação do Sistema de Automação de Nível Digital Aplicado na Determinação de Recalques. **Bol. Ciênc. Geod. [on line]**. Vol.23, n2, p.352-370, 2017.

TEIXEIRA, N.N.; FERREIRA, L.D.D. Análise da Confiabilidade de Redes Geodésicas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.9, n.2, p.199-216, 2003.

TIMBÓ, M.A. Levantamentos Através do Sistema GPS. Departamento de Cartografia da **UFMG**, Belo Horizonte, 2000.

TULER, M.; SARAIVA, S. Fundamentos de Geodésia e Cartografia. Porto Alegre. **Bookman**, 2016. 228p.

TULER, M.; SARAIVA, S. Fundamentos de Topografia. Porto Alegre. **Bookman**, 2014. 308p.

VEIGA, L.A.K.; ZANETTI, M.A.Z.; FAGGION, P.L. Fundamentos de Topografia. Universidade Federal do Paraná **UFP**, 2007.

VICENTE, L.E.; SOUZA, C.R. Detecção de Quartzo e Argilominerais para o Monitoramento de Degradação de Terras a partir de Dados do Infravermelho Termal do Sensor ASTER. **Rev. Bras. Geof.**, São Paulo, v.28, n.2, p.229-247, jun.2010.