

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DARLAN PAULO COSSUL

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DO TERRENO OBTIDOS
POR MEIO DE DADOS COLETADOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE
POSICIONAMENTO POR SATÉLITES GNSS: COM APLICAÇÃO NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO

CURITIBA

2021

DARLAN PAULO COSSUL

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DO TERRENO OBTIDOS
POR MEIO DE DADOS COLETADOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE
POSICIONAMENTO POR SATÉLITES GNSS: COM APLICAÇÃO NA
AGRICULTURA DE PRECISÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Pereira Krueger

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Selma Regina Aranha Ribeiro

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR

Biblioteca de Ciência e Tecnologia

C836a

Cossil, Darlan Paulo

Avaliação da qualidade de modelos digitais do terreno obtidos por meio de dados coletados por diferentes métodos de posicionamento por satélites GNSS: com aplicação na agricultura de precisão [recurso eletrônico] / Darlan Paulo Cossil. – Curitiba, 2021.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2021.

Orientador: Cláudia Pereira Krueger – Coorientador: Selma Regina Aranha Ribeiro

1. Modelo Digital do Terreno. 2. Mapeamento digital. 3. Altitudes – Levantamento. 4. Agricultura de precisão. I. Universidade Federal do Paraná. II. Krueger, Cláudia Pereira. III. Ribeiro, Selma Regina Aranha. IV. Título.

CDD: 526.98

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS
GEODÉSICAS - 40001016002P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DARLAN PAULO COSSUL** intitulada: **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS DIGITAIS DO TERRENO OBTIDOS POR MEIO DE DADOS COLETADOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES GNSS: COM APLICAÇÃO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**, sob orientação da Profa. Dra. CLAUDIA PEREIRA KRUEGER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Janeiro de 2021.

Assinatura Eletrônica
01/02/2021 14:02:56.0
CLAUDIA PEREIRA KRUEGER
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
29/01/2021 16:02:37.0
ÉRICA SANTOS MATOS BALUTA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
01/02/2021 14:12:25.0
PAULO SERGIO DE OLIVEIRA JUNIOR
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
28/01/2021 16:56:02.0
TIAGO LIMA RODRIGUES
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
01/02/2021 07:36:42.0
JOSE PAULO MOLIN
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP)

Centro Politécnico - Caixa Postal 19001 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3153 - E-mail: cpgcg@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 70926
Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 70926

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pelas oportunidades que tive, em especial a oportunidade de poder realizar o mestrado nesta instituição.

À minha família pelo apoio e a minha namorada Sabrina Heuert pelo apoio, incentivo e ajuda neste período.

Aos colegas do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia pelo companheirismo e pela ajuda nos levantamentos de campo que foram necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores, alunos e funcionários da Universidade Estadual de Ponta Grossa que auxiliaram na realização dos levantamentos. À professora e coorientadora Selma Regina Aranha Ribeiro pelo auxílio durante o desenvolvimento dos levantamentos e orientação.

À todos os professores e colegas do PPGCG pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

À professora e orientadora Cláudia Krueger pelas orientações, participações nos levantamentos de campo, contribuições para o desenvolvimento dessa pesquisa e pela confiança depositada em mim.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realizar o mestrado e pela disponibilização das instalações e equipamentos necessários à pesquisa.

À CAPES e a Fundação Araucária pelo apoio financeiro que foi fundamental para permitir a realização dessa pesquisa.

Meu muito obrigado a todos (as).

RESUMO

Os Modelos Digitais do Terreno (MDT) têm como objetivo representar a superfície física de um terreno e as elevações nele contidas, possibilitando através do mesmo realizar diversas análises. Na agricultura as informações a respeito do relevo são importantes para os proprietários podendo fornecer subsídios para que realizem o planejamento do cultivo visando reduzir a ocorrência de erosão nestas áreas. O emprego do posicionamento *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) é uma alternativa para a aquisição de dados planialtimétricos. Com isso, o presente trabalho objetivou analisar a acurácia de desníveis e MDT gerados a partir de dados coletados por diferentes métodos de posicionamento GNSS, visando fornecer aos usuários subsídios para que possam, mediante esse conhecimento, efetuar levantamentos com maior confiabilidade. Em primeira fase os desníveis obtidos empregando o posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) e o Posicionamento Relativo Cinemático (PRC) foram comparados àqueles obtidos pelo nivelamento geométrico (adotado como referência). Os resultados apontam que ambos os métodos de posicionamento apresentaram capacidade de determinar a diferença de nível entre os pontos no terreno com acurácia centimétrica na área de estudo. Observou-se que a utilização de um maior número de observações RTK para o cálculo dos desníveis favoreceu a determinação da altitude elipsoidal com maior precisão e conseqüentemente a determinação dos desníveis com maior acurácia. Na segunda fase da pesquisa avaliou-se a qualidade dos MDT gerados a partir dos métodos de posicionamento RTK, PRC L1/L2, PRC L1 e Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) obtidos através de um receptor GNSS embarcado em um trator durante a sementeira. Os MDT foram avaliados quanto a sua qualidade e apresentaram raiz do erro quadrático médio (REQM) centimétricos. Esses modelos foram classificados com base no Padrão de Exatidão Cartográfica para produtos Digitais – PEC-PCD.

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno. Acurácia. Agricultura de Precisão. Levantamento planialtimétrico.

ABSTRACT

The Digital Terrain Models (MDT) aim to represent the physical surface of a terrain and the elevations contained therein, making it possible to carry out various analyzes. In agriculture, the information about the relief is important for the owners, being able to provide subsidies for them to carry out the cultivation planning aiming to reduce the occurrence of erosion in these areas. The use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) positioning is an alternative for the acquisition of planialtimetric data. Thus, the present study aimed to analyze the accuracy of height differences and MDT generated from data collected by different methods of GNSS positioning, aiming to provide users with subsidies so that, through this knowledge, they can carry out surveys with greater reliability. In the first phase, the height differences obtained using the Real Time Kinematic positioning (RTK) and the Kinematic Relative Positioning (PRC) were compared to those obtained by the geometric leveling (adopted as a reference). The results show that both positioning methods were able to determine the level difference between points on the ground with centimeter accuracy in the study area. It was observed that the use of a greater number of RTK observations for the calculation of the height differences favored the determination of the ellipsoidal altitude with greater precision and consequently the determination of the height differences with greater accuracy. In the second phase of the research, the quality of the MDT generated from the RTK, PRC L1 / L2, PRC L1 and Precise Point Positioning (PPP) methods obtained through a GNSS receiver loaded on a tractor during sowing was evaluated. The MDT were evaluated for their quality and had a root of the centimetric mean square error (REQM). These models were classified based on the Cartographic Accuracy Standard for Digital products - PEC-PCD.

Keywords: MDT. Accuracy. Precision agriculture. Planialtimetric survey.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EROÇÃO EM SOLO AGRÍCOLA RESULTANTE DO MANEJO INADEQUADO DO SOLO.....	21
FIGURA 2 – UTILIZAÇÃO DOS TERRAÇOS VISANDO A REDUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS.....	22
FIGURA 3 – UTILIZAÇÃO DO CULTIVO EM CONTORNO VISANDO A REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NO SOLO.....	23
FIGURA 4 - ESQUEMA DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	30
FIGURA 5- PRECISÃO ESPERADA PARA DIFERENTES MÉTODOS DE POSICIONAMENTO CONFORME A LINHA DE BASE UTILIZADA.	31
FIGURA 6- ESQUEMA REPRESENTATIVO DO POSICIONAMENTO RELATIVO	34
FIGURA 7 - MÉTODO DE POSICIONAMENTO RTK	37
FIGURA 8- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	40
FIGURA 9- ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.	42
FIGURA 10- ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FASE I.	43
FIGURA 11- PERFIS MATERIALIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO.	45
FIGURA 12– ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA RTK INSTALADA SOBRE O MARCO BASE 21.....	46
FIGURA 13- NIVELAMENTO GEOMÉTRICO SENDO REALIZADO NA ÁREA DE ESTUDO.	46
FIGURA 14- ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FASE II.	48
FIGURA 15- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO.....	49
FIGURA 16- RECEPTORES ACOPLADOS AO TRATOR PARA COLETA DE DADOS DURANTE A SEMEADURA.	50
FIGURA 17- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS LEICA 1200.	53
FIGURA 18- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS LEICA 900.	54

FIGURA 19- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS HIPER SR.	54
FIGURA 20- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO NÍVEL DIGITAL LEICA DNA 03.	55
FIGURA 21- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRATOR JOHN DEERE 7515.	55
FIGURA 22- NÚMERO DE SATÉLITES DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO.	57
FIGURA 23- VALORES DE DOP DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO.	58
FIGURA 24- VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL PARA O PONTO M1.	60
FIGURA 25- DISCREPÂNCIAS ENTRE DESNÍVEIS OBTIDOS POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E POSICIONAMENTO RTK MEDIANTE O EMPREGO DE 1 E DE 100 OBSERVAÇÕES RTK.	60
FIGURA 26- RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO (REQM) DE DESNÍVEIS CALCULADOS A PARTIR DE DIFERENTES NÚMEROS DE OBSERVAÇÕES RTK.	62
FIGURA 27- CORRELAÇÃO ENTRE DESNÍVEIS OBTIDOS POR NG E RTK....	63
FIGURA 28- HISTOGRAMA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE RTK E NG.	64
FIGURA 29- ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS POR MEIO DO PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS EMPREGANDO AS ONDAS PORTADORAS L1 E L2.	65
FIGURA 30- COMPARAÇÃO DAS PRECISÕES OBTIDAS POR MEIO DO POSICIONAMENTO RTK E PRC (L1/L2).	66
FIGURA 31- COMPARAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DOS DESNÍVEIS OBTIDOS POR RTK E PRC L1/L2.	67
FIGURA 32- HISTOGRAMA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE PR E NG.	68
FIGURA 33- LINHAS DE COLETA DE DADOS DURANTE A OPERAÇÃO DE SEMEADURA.	70
FIGURA 34 - MDT GERADO A PARTIR DOS DADOS RTK COLETADOS DURANTE A SEMEADURA.	71
FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE O MDT (RTK) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.	72

FIGURA 36 - MDT GERADO A PARTIR DE DADOS PÓS PROCESSADOS (L1/L2) COLETADOS POR MEIO DO MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO.....	73
FIGURA 37 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE O MDT (L1/L2) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.....	74
FIGURA 38 - MDT GERADO A PARTIR DE DADOS PÓS-PROCESSADOS (L1) COLETADOS POR MEIO DO MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO.....	75
FIGURA 39 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE MDT (L1) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.....	76
FIGURA 40 - MDT GERADO A PARTIR DOS DADOS PÓS PROCESSADOS PELO POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO.....	78
FIGURA 41 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE MDT (PPP) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRECISÃO ESPERADA PARA UM LEVANTAMENTO ESTÁTICO UTILIZANDO O POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO (PPP).....	33
TABELA 2 - PRECISÃO ESPERADA NO POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E ESTÁTICO RÁPIDO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO, EQUIPAMENTO UTILIZADO E COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE.....	35
TABELA 3 – SOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES OBTIDAS DURANTE O PROCESSAMENTO.....	58
TABELA 4 – COORDENADAS GEODÉSICAS E RESPECTIVAS PRECISÕES.....	59
TABELA 5 – ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA OS CONJUNTOS DE DADOS.....	61
TABELA 6 – RESULTADOS TESTE t DE STUDENT NA COMPARAÇÃO ENTRE NG E RTK.....	64
TABELA 7 – ESTATÍSTICAS PARA AS DISCREPÂNCIAS DOS DESNÍVEIS OBTIDOS POR POSICIONAMENTO RTK E PRC L1/L2.....	67
TABELA 8 – RESULTADOS TESTE t DE STUDENT NA COMPARAÇÃO ENTRE NG E PR.....	69
TABELA 9 – VALORES DE EP ALTIMÉTRICOS PARA AS DIFERENTES ESCALAS E CLASSES.....	80
TABELA 10 – RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO DAS ALTITUDES PROVENIENTES DOS MDT GERADOS.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AP	- Agricultura de Precisão
AS	- ing: <i>Anti – Spoofing</i>
A-SBAS	- SBAS para a África e Oceano Índico
ASTER	- ing: <i>Anti – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
BDS	- ing: <i>BeiDou Navigation Satellite System</i>
BDSBAS	- BeiDou SBAS
CNSS	- ing: <i>Compass Navigation Satellite System</i>
CQ	- ing: <i>Quality Control</i>
DDF	- Dupla Diferença de Fase
DGPS	- ing: <i>Differential Global Position System</i>
DoD	- ing: <i>Department of Defense</i>
DOP	- <i>Dilution of Precision</i>
DP	- Desvio Padrão
EGNOS	- ing: <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
ESA	- ing: <i>European Space Agency</i>
FESCON	- Fazenda Escola Capão da Onça
GAGAN	- ing: <i>GPS Aided GEO Augmented Navigation</i>
GEO	- Órbita Terrestre Geoestacionária
GLONASS	-russo: <i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	- ing: <i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	- ing: <i>Global Positioning System</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	- ing: <i>International Civil Aviation Organization</i>
IDP	- ing: <i>Inverse Distance to a Power</i>
IDW	- ing: <i>Inverse Distance Weighted</i>
IGS	- ing: <i>International GNSS Service</i>
IGSO	- Órbita Geo-Síncrona Inclinada
IN	- Instrução Normativa
IP	- ing: <i>Internet Protocol</i>
KASS	- Sistema de Satélite de Aumentação da Coreia
LABTOPO	- Laboratório de Topografia

LAGEH	- Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
MDS	- Modelo Digital de Superfície
MDT	- Modelo Digital do Terreno
MEO	- Órbita Terrestre Média
MSAS	- ing: <i>Multifunctional Satellite Augmentation System</i>
NAVSTAR	- ing: <i>NAVigation System with Time And Ranging</i>
NBR	- Norma Brasileira
NG	- Nivelamento Geométrico
NRCan	- ing: <i>Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada</i>
PDOP	- ing: Position DOP
PEC-PCD	- Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Cartográficos Digitais
PP	- Posicionamento por Ponto
PPP	- Posicionamento por Ponto Preciso
PPS	- ing: <i>Precise Positioning Service</i>
PR	- Posicionamento Relativo
PRC	- Posicionamento Relativo Cinemático
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RINEX	- ing: <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
REQM	- Raiz do Erro Quadrático Médio
RTCM	- ing: <i>Radio Technical Committee for Maritime Service</i>
RTK	- ing: <i>Real Time Kinematic</i>
RTX	- ing: <i>Real Time Extended</i>
SA	- ing: <i>Selective Availability</i>
SBAS	- ing: <i>Satellite Based Augmentation System</i>
SDCM	- Sistema para Correções Diferenciais e Monitoramento
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPAN	- ing: <i>Southern Positioning Augmentation Network</i>
SPS	- ing: <i>Standard Positioning Service</i>
SRTM	- ing: <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
TIN	- ing: <i>Triangulated Irregular Network</i>
TU	- Tempo Universal
UEPG	- Universidade Estadual de Ponta Grossa
UFPR	- Universidade Federal do Paraná

URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado
WAAS - ing: Wide Area Augmentation System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	APLICAÇÕES DE MDT NA AGRICULTURA	18
3.2	PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA.....	20
3.3	FERRAMENTAS DISPONÍVEIS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS.....	23
3.4	AQUISIÇÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS POR MEIO DE GNSS EMBARCADO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS	24
3.5	SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES (GNSS)	25
3.5.1	NAVSTAR- GPS	26
3.5.2	GLONASS	27
3.5.3	GALILEO	28
3.5.4	BEIDOU.....	29
3.6	MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	29
3.6.1	Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)	32
3.6.2	Posicionamento Relativo	33
3.6.3	<i>Real Time Kinematic</i> (RTK).....	36
3.6.4	Sistema de aumento baseado em satélites (SBAS)	37
3.7	INTERPOLADORES.....	38
3.7.1	Ponderação pelo inverso da distância (<i>Inverse Distance Weighting</i> - IDW)	39
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1	ÁREA DE ESTUDO	40
4.2	AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	41
4.2.1	Fase I - Desníveis na área de estudo	42
4.2.2	Fase II - Levantamento Planialtimétrico da Área de Estudo	47
4.2.2.1	Levantamento da área utilizando receptor GNSS acoplado ao trator	49
4.2.2.2	Processamento dos dados	50

4.2.2.3	Interpolação e Geração dos Modelos Digitais do Terreno.....	51
4.2.2.4	Acurácia dos modelos digitais do terreno.....	52
4.3	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	52
4.4	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS.....	55
5	RESULTADOS	56
5.1	OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA IMPLANTADA NA ÁREA DE ESTUDO.....	56
5.2	OBTENÇÃO DOS DESNÍVEIS NA ÁREA DE ESTUDO.....	59
5.2.1	Análise dos desníveis obtidos por meio do Posicionamento RTK.....	59
5.2.1.1	Testes estatísticos visando verificar se os desníveis obtidos pelo NG e RTK diferem significativamente.....	63
5.2.2	Análise dos desníveis obtidos por meio do Posicionamento Relativo Cinemático.....	65
5.2.2.1	Teste estatístico para verificar se os desníveis obtidos pelo Posicionamento Relativo e NG diferem significativamente.....	68
5.3	LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO REALIZADO DURANTE A SEMEADURA.....	69
5.3.1	Análise do MDT gerado a partir de dados coletados pelo método de posicionamento <i>Real Time Kinematic</i> (RTK) durante a semeadura.....	70
5.3.2	Análise do MDT gerado a partir de dados coletados pelo método de posicionamento relativo com pós-processamento dos dados empregando as ondas portadoras L1 e L2.....	72
5.3.3	Análise do MDT gerado a partir de dados coletados pelo método de posicionamento relativo com pós-processamento dos dados empregando somente a onda portadora L1.....	74
5.3.4	Análise do MDT gerado a partir das soluções obtidas pelo posicionamento por ponto preciso (PPP).....	77
5.3.5	Avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Modelos Digitais do Terreno gerados.....	79
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) é caracterizada por um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando o aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente (Brasil, 2013). A AP atualmente apresenta duas grandes subdivisões: a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis com base na amostragem georreferenciada de solo e o uso de sistemas de direção automática (MOLIN, 2015).

Dentre as geotecnologias mais empregadas na agricultura de precisão cita-se: o posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto (PRADO, 2010). A primeira destas tecnologias é utilizada em diversas etapas do processo produtivo, como coleta de amostras de solo georreferenciadas, distribuição de insumos em taxa variável, geração de mapas de produtividade e mais recentemente na coleta de dados altimétricos buscando a representação da área através de modelos digitais do terreno (MDT).

Os dados planialtimétricos são utilizados em diferentes aplicações na agricultura, desde a elaboração de projetos, como a construção de barragens, sistematização de áreas, planejamento de estruturas para contenção da erosão hídrica, além de construção e manutenção de estradas, até a aplicação no planejamento das linhas de plantio, para semeadura em nível (RABELO et al, 2019). Nesse contexto, o posicionamento GNSS pode ser uma alternativa para a aquisição de dados planialtimétricos com acurácia centimétrica. A viabilidade da sua utilização depende principalmente do tamanho da área a ser levantada e da precisão requerida pelo projeto.

Os levantamentos com GNSS nas áreas agrícolas podem ser realizados utilizando receptores embarcados em máquinas agrícolas, dessa forma, a coleta de dados é efetuada em conjunto a essa operação e não agrega maiores custos para sua execução, como encontrado nos trabalhos de Cremonini e Molin (2002), Brutti (2014), Jendrzikowski (2018) e Bakar et al. (2019), com utilização para a geração de mapas planialtimétricos.

Dessa forma, observa-se o potencial da utilização de receptores GNSS acoplados a máquinas agrícolas, a fim de obter dados, para posterior geração de

MDT que possam ser empregados na agricultura. No entanto, a aquisição de dados perante esta metodologia tem suas particularidades, tendo em vista os fatores que podem afetar na acurácia obtida pelo posicionamento. Existe assim, a necessidade de que mais pesquisas sejam realizadas a respeito do tema, incluindo a análise da precisão e acurácia dos dados planialtimétricos obtidos com diferentes métodos de posicionamento GNSS.

Nesse contexto, se forem realizadas análises de acurácia e precisão das altitudes obtidas por meio do emprego de diferentes métodos de posicionamento, e conseqüentemente de MDT, então se pode fornecer aos usuários subsídios para auxiliar na tomada de decisão quanto ao melhor método de posicionamento a ser empregado visando obter dados de qualidade no planejamento agrícola das propriedades.

1.1 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa norteia-se na avaliação da precisão e acurácia de soluções de posicionamento GNSS e de MDT gerados a partir de dados obtidos por diferentes métodos de posicionamento, visando fornecer aos usuários subsídios para que possam, mediante esse conhecimento, efetuar levantamentos com maior confiabilidade, conhecendo o nível de confiabilidade com determinado tipo de equipamento.

Outra questão importante que justifica a realização desse trabalho é a necessidade de levantamentos planialtimétricos para as áreas agrícolas visando à realização do planejamento conservacionista da propriedade mediante a utilização de MDT, gerando assim, uma economia de tempo e dinheiro. Esse planejamento é necessário, tendo em vista que nos últimos anos têm-se inúmeros problemas nas lavouras brasileiras ocasionados pela ocorrência de erosão nas áreas agrícolas.

Outro aspecto relevante que justifica essa pesquisa é a aquisição de informações georreferenciadas analisadas quanto a sua precisão e acurácia, sendo empregadas no desenvolvimento de um projeto de pesquisa intitulado “Modelos para Diagnóstico de Processos Erosivos em Solos Agrícolas”. Esse projeto é financiado pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná e está sendo realizado em parceria entre a

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a acurácia de desníveis e MDT gerados a partir de dados coletados por diferentes métodos de posicionamento GNSS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Analisar a precisão das altitudes elipsoidais obtidas por meio de diferentes métodos de levantamentos GNSS sendo RTK (*Real Time Kinematic*) e PRC (Posicionamento Relativo Cinemático).
- II. Analisar a acurácia dos desníveis, em perfis implantados na área, obtidos pelos métodos de posicionamento comparando-os aos desníveis obtidos por meio de um nivelamento geométrico (NG).
- III. Analisar a acurácia dos MDT por meio de pontos, na área de estudo, com coordenadas geodésicas determinadas pelo método de posicionamento relativo estático rápido.
- IV. Avaliar os diferentes MDT de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais - PEC-PCD.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 APLICAÇÕES DE MDT NA AGRICULTURA

Os MDT são utilizados para representar o terreno (superfície física) e as elevações nele contidas (DALMOLIN; SANTOS, 2003). Na literatura encontram-se

diferentes nomenclaturas e definições para caracterizar um Modelo Digital do Terreno, no entanto a definição adotada nesse trabalho corrobora com a definição de Jensen (2011), onde MDT são aqueles que contêm informação de elevação da superfície desnuda da Terra, ou seja, sem influência de vegetação ou de feições construídas pelo homem como postes, prédios, casas etc. Destaca-se que neste caso não se está considerando objetos, vegetação ou estruturas existentes sobre a superfície do terreno.

Os MDT permitem a realização de diversas análises (declividade, curvas de nível, análise de perfis, desnível entre pontos, entre outras) sobre a área de interesse sem a necessidade de estar efetivamente na área de estudo. A partir de uma amostragem de pontos (com coordenadas tridimensionais conhecidas) realizada na área, da análise dos dados e da interpolação é possível gerar o MDT. Empregando-se um SIG pode-se ainda efetuar estudos quanto à declividade da área, geração de linhas de fluxo de água, curvas de nível, definição de zonas de acúmulo de água, entre outras análises.

Dessa forma, os MDT vêm sendo empregados em diferentes aplicações na agricultura. Alguns trabalhos, como os realizados por Alba et al. (2011), analisam o MDT conjuntamente com mapas de produtividade e mapas de fertilidade do solo a fim de verificar a influência da altimetria na interpretação dos mapas digitais utilizados na agricultura de precisão. Os resultados evidenciam que parte da variabilidade espacial de rendimento das culturas pode ser explicada por processos que ocorrem na superfície do terreno devido a sua topografia, como: escoamento superficial de água, erosão, transporte de sedimentos e nutrientes.

Os MDT podem ser utilizados no planejamento e execução de curvas de nível, terraços ou ainda linhas de drenagem para escoamento da água. A partir dos modelos digitais, por meio da utilização de piloto automático em máquinas agrícolas pode ser realizada a locação das curvas de níveis, terraços ou ainda a locação de drenos. A respeito do último item, Winkler et al. (2011) realizaram a sua locação utilizando um MDT em área de cultivo de arroz, a qual foi feita a partir das linhas de escoamento superficial de água definidas no modelo. O sistema de locação de drenos a partir da análise do MDT apresentou-se mais eficiente e econômica do que o sistema convencional de locação de drenos paralelos.

Outra aplicabilidade que vem ganhando espaço no contexto da agricultura de precisão é a semeadura em taxa variável. Nesse contexto, trabalhos como de

Licht et al. (2017) têm empregado esta sementeira buscando aumento de produtividade dos campos, sendo que os parâmetros utilizados na definição da taxa de sementeira estão associados a fatores de solo e também de topografia do terreno. Os autores identificaram ainda parâmetros topográficos (modelos digitais, a elevação, declividade, curvatura) e do solo que ao interagir com a taxa de sementeira pudessem influenciar no rendimento da cultura do milho.

Os MDT podem ser utilizados no planejamento conservacionista das propriedades, tendo em vista que um mapa com as curvas de nível pode ser obtido através do MDT. Dessa forma esse mapa poderá ser utilizado como apoio para a realização da sementeira em nível, também denominada sementeira em contorno. Ela consiste em realizar a sementeira de forma transversal ao declive da área. Essa técnica juntamente com a construção de terraços contribui na conservação do solo, sendo utilizada para evitar a perda de água e solo nas áreas agrícolas.

Em áreas de produção de arroz no Sul do Brasil vêm sendo efetuadas pesquisas como a de Bueno (2018) referentes à locação de marrachas ou taipas (denominação regional) a partir de MDT empregando ferramentas como o sistema de piloto automático provido de posicionamento RTK.

Neste item foram apresentados alguns trabalhos que utilizam MDT na agricultura, contudo este é um tema amplo que possibilita ainda diversas pesquisas, principalmente aquelas que avaliem a precisão e acurácia de desníveis e MDT gerados a partir de diferentes métodos de posicionamento por satélites GNSS.

3.2 PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA

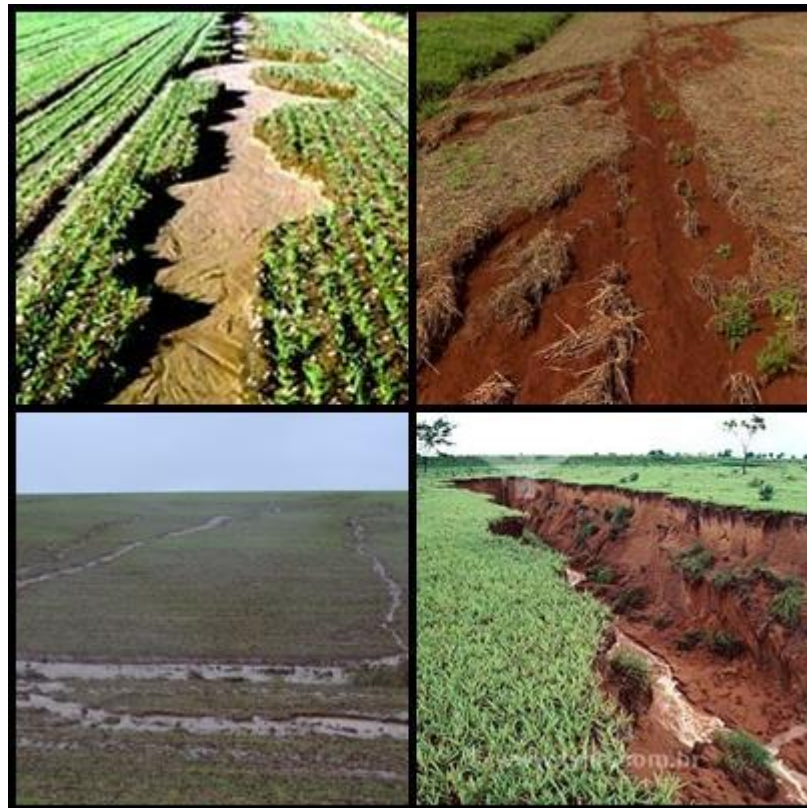
O planejamento conservacionista tem como objetivo

[...] a racionalização do uso e do manejo dos recursos naturais – solo, água e biodiversidade –, reconhecendo sua heterogeneidade, fragilidade e capacidade de resiliência. A base do processo é a aptidão agrícola das terras e a aptidão climática, que definem o uso potencial de mínimo impacto ambiental negativo. O confronto do uso potencial com o uso atual define a adequabilidade de uso da terra e a melhor opção de manejo a ser implementada em cada gleba de maneira integrada (RAMALHO-FILHO et al, 2010, p.3).

Esse planejamento consiste no emprego de diversas técnicas e ferramentas que possibilitam o uso da terra provendo o mínimo de degradação do solo e da água, evitando a erosão, a compactação do solo, poluição e assoreamento dos mananciais hídricos, além de proporcionar retorno econômico da atividade realizada neste local (RAMALHO-FILHO et al, 2010).

A erosão (Figura 1) elimina cerca de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo de forma significativa a produtividade das culturas cultivadas e a capacidade de armazenamento do solo. Já as perdas de produção de cereais devido à erosão ficam em torno de 7,6 milhões de toneladas por ano. Caso não sejam tomadas as devidas providências, a projeção é de que até 2050 sejam perdidos um total de mais de 253 milhões de toneladas de cereais, o equivalente a 1,5 milhão de quilômetros quadrados de terras produtivas (SANTOS, 2015). A erosão em solo agrícola e de pastagem intensiva varia entre cem a mil vezes a taxa de erosão natural e o custo anual de fertilizantes para substituir os nutrientes perdidos pela erosão chega a US\$ 150 bilhões (DIAS, 2016).

FIGURA 1 – EROSIÃO EM SOLO AGRÍCOLA RESULTANTE DO MANEJO INADEQUADO DO SOLO.



FONTE: Google Imagens (2020).

Para auxiliar na redução dos processos erosivos do solo, a principal estrutura empregada são os terraços (Figura 2), construídos transversalmente em relação ao declive do terreno, cujo espaçamento é calculado de acordo com a declividade, tipo de solo, uso e manejo do solo. O terraço promove a redução do comprimento das pendentes, reduzindo assim a velocidade de escoamento da água, auxiliando na sua maior infiltração no solo. Os terraços permitem ainda que haja a deposição de material erodido e transportado pela água da chuva, reduzindo as perdas de solo e o assoreamento de corpos de água. Estas barreiras físicas utilizadas no controle das enxurradas podem apresentar diferentes adaptações conforme as características da área onde forem utilizadas (VERDUM et al., 2016).

FIGURA 2 – UTILIZAÇÃO DOS TERRAÇOS VISANDO A REDUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS.



FONTE: Google Imagens (2020).

Além disso, têm-se o cultivo em contorno (Figura 3) que é uma técnica de caráter mecânico-vegetativo, onde se utiliza como referência pontos com mesma cota no terreno para realização das atividades de preparo do solo e tratos culturais, estabelecendo as linhas de plantio e/ou sementeira em sentido transversal ao declive do terreno. A sementeira em nível confere ao solo uma eficaz proteção

contra chuvas de baixa e média intensidade, especialmente em terrenos de relevo ondulado (VERDUM et al., 2016).

FIGURA 3 – UTILIZAÇÃO DO CULTIVO EM CONTORNO VISANDO A REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NO SOLO.



FONTE: Google Imagens (2020).

3.3 FERRAMENTAS DISPONÍVEIS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS ALTIMÉTRICOS

Atualmente estão disponíveis aos usuários diferentes ferramentas para a aquisição de dados altimétricos. Entre elas, equipamentos que já vem sendo utilizados a longo tempo como estações totais e níveis, receptores GNSS (JUAREZ, 2018), Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) (NIEMANN, 2017; KOMAZAKI *et. al.*, 2017, HUNG, *et.al*, 2018; REICHEL e SAMPAIO, 2018), sistemas de Laser Scanner aerotransportados (FERNANDES, *et.al*, 2017; MENDONÇA e PORTUGAL, 2018), bem como, dados obtidos por satélites (CORREA *et. al.*, 2017; BARBOSA *et. al.*, 2019).

No entanto, essas ferramentas demandam pessoal especializado para a realização dos levantamentos e para processamento dos dados, além de softwares e hardwares de bom desempenho. Aqueles dados disponíveis de forma gratuita como os modelos digitais de superfície (MDS) provenientes das missões ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) não atendem as demandas de projetos que necessitem de detalhamento e acurácia planimétrica e altimétrica (OLIVEIRA, 2016). O produto SRTM possui precisão vertical de 6,2 m e horizontal de 9,0 m para a América do Sul (RODRIGUEZ *et.al*, 2006).

É importante ressaltar que algumas dessas ferramentas obtêm em primeira fase o Modelo Digital de Superfície (MDS) e não o MDT, tendo em vista que, os dados representam a parte superior do dossel da vegetação e /ou construções presentes na área. Nesses casos, faz-se necessário realizar a filtragem para obtenção do MDT, sendo que nesse processo podem-se induzir a erros.

3.4 AQUISIÇÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS POR MEIO DE GNSS EMBARCADO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Pesquisas sobre a empregabilidade de receptores GNSS embarcados em máquinas agrícolas para a coleta de dados planialtimétricos vêm sendo realizadas, tendo em vista que essa metodologia traz a possibilidade de coleta de dados durante operações agrícolas rotineiras nas propriedades, e dessa forma não agrega custos extras para a realização dos levantamentos e promove economia de tempo. Neste item será apresentado um estado da arte das pesquisas realizadas sobre o tema.

No trabalho desenvolvido por Cremonini e Molin (2002) foi utilizado um equipamento GNSS empregando o método de posicionamento DGPS para a coleta de dados planialtimétricos durante uma simulação de colheita, em que foi avaliada a acurácia obtida empregando este método de posicionamento. Dessa forma, os autores concluíram que a utilização de dados obtidos durante diferentes safras agrícolas, quando integrados, melhoraram as informações sobre a área, podendo ser aplicados na determinação de classes de declividade, desníveis do terreno e no

planejamento de áreas em que se deseja um melhor entendimento da variabilidade espacial das lavouras.

Visando obter dados planialtimétricos durante operações agrícolas, Brutti (2014) realizou a coleta de dados GNSS durante a semeadura e colheita utilizando um equipamento GNSS presente no trator e na colhedora, nos quais empregou o método de posicionamento RTK. Os MDT gerados empregando-se dados da semeadura e colheita foram comparados. O autor detectou maiores diferenças entre os modelos gerados nas áreas mais planas, destacando como prováveis causas: o maior espaçamento entre as passadas da colhedora que acarreta dificuldade na captação dos micro relevos na área e o comportamento variável da colhedora devido a variação de peso durante a colheita. Os dados obtidos puderam ser utilizados no planejamento e construção das marrachas ou taipas para a lavoura de arroz.

Na mesma perspectiva, Jendrzikowski (2018) realizou levantamentos durante as operações agrícolas de semeadura, pulverização e colheita, nas quais empregou receptores GNSS com o método de posicionamento RTK para a coleta de dados. Concluiu que a aquisição de dados durante a semeadura gerava dados mais confiáveis, visto que a ocorrência de erros é menor do que aqueles obtidos nas demais operações. Por exemplo, na operação de colheita, o peso da colhedora causou deformação ao solo. Já na pulverização, utilizando equipamento autopropelido, houve oscilação da suspensão do equipamento. Ambos os casos levaram a determinação da componente altimétrica de forma equivocada, não refletindo a realidade do terreno. Além disso, no caso da pulverização, a distância entre as faixas foi superior à utilizada na semeadura e na colheita, ocasionando uma redução na quantidade de pontos amostrais na área de estudo.

Bakar et al. (2019) realizaram um levantamento planialtimétrico utilizando um receptor GNSS para a coleta de dados durante a operação de preparo do solo em uma área de produção de arroz na Malásia. Os dados foram empregados na obtenção do índice de nivelamento da área, o que permitiu a realização da semeadura de arroz em taxa variável de acordo com relevo do local.

3.5 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES (GNSS)

O termo *Global Navigation Satellite Systems* ou *GNSS* refere-se aos sistemas de navegação por satélites artificiais. Baseiam-se no uso de satélites artificiais que proporcionam dados de navegação e observações aos usuários em tempo real, oferecendo serviço de posicionamento com diferentes níveis de precisão. Atualmente o GNSS abrange as constelações de satélites NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System*, sistema americano), o GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*, sistema russo), e em fase de finalização os sistemas Galileo (sistema Europeu) e Compass (sistema Chinês) (MONICO, 2008; HUINCA, 2014). Além dos sistemas já citados, compõem o GNSS os chamados SBAS (*Satellite Based Augmentation System*), tais como o WAAS (*Wide Area Augmentation System*) nos Estados Unidos, o EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) na Europa, o MSAS (*Multifunctional Satellite Augmentation System*) no Japão, o GAGAN (*GPS Aided GEO Augmented Navigation*) na Índia, além de outras iniciativas semelhantes (ALVES, ABREU e SOUZA, 2013).

3.5.1 NAVSTAR- GPS

O NAVSTAR- GPS é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos- DoD (*Department of Defense*), inicialmente para fins militares, objetivando ser o principal sistema de navegação deles. No entanto, devido à acurácia proporcionada pelo sistema e o desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, houve uma grande demanda da comunidade civil para utilização deste sistema. Ele permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo dela, obtenha sua posição mediante o rastreamento de pelo menos 4 satélites. O princípio básico da navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e pelo menos quatro satélites. Considerando que as coordenadas dos satélites são conhecidas em um sistema de referência geocêntrico (WGS-84), através do rastreamento destes satélites determina-se as coordenadas da antena do usuário neste mesmo sistema de referência (MONICO, 2008).

O GPS proporciona dois tipos de serviços, o SPS (*Standard Positioning Service* - Serviço de Posicionamento Padrão) e PPS (*Precise Positioning Service*-

Serviço de Posicionamento Preciso). O SPS é um serviço de posicionamento e tempo padrão disponível para todos os usuários do globo, sem custo. A acurácia horizontal e vertical fornecida pelo SPS era de 100 e 140 m, respectivamente, até o dia 1 de maio de 2000, com nível de confiança de 95%. Até essa data o PPS proporcionava melhores acurácias (22, 0 m horizontal e 27,7 m vertical), porém era restrito ao uso de militares e usuários autorizados. O sistema sempre apresentou capacidade de melhores acurácias no SPS utilizando o posicionamento simples (absoluto ou por ponto), porém não era de interesse do DoD, por se tratar de um sistema global poderia trazer riscos à segurança. Nesse sentido, a degradação da acurácia era garantida pela utilização de duas técnicas de segurança, a AS (*Anti-Spoofing*) e a SA (*Selective Availability*- Disponibilidade Seletiva). A técnica AS é um processo de criptografia do código P, um dos códigos usados para medidas de pseudodistâncias no GPS. Já a técnica SA consistia na manipulação das mensagens de navegação e da frequência dos relógios dos satélites. Essa técnica de manipulação e de deterioração da acurácia do SPS foi retirada do sistema a 0h TU (Tempo Universal) do dia 2 de maio de 2000, o que melhorou a acurácia do posicionamento em torno de 10 vezes. Nos satélites pertencentes ao bloco GPS III/IIIF esta técnica de degradação do sinal está desativada (MONICO, 2008; SEEBER, 2003, GPS.GOV,2021).

Os satélites GPS orbitam a uma altitude média de 20200 km, possuindo um período orbital de 12 horas siderais. Os satélites estão dispostos em 6 planos orbitais igualmente espaçados, com 4 satélites em cada plano. Essa configuração básica (24 satélites) garante ao usuário a presença de pelo menos 4 satélites visíveis em qualquer ponto da Terra. Em junho de 2011 foi concluída a expansão da constelação de satélites GPS que passou a contar com 27 satélites na sua configuração padrão (GPS.GOV, 2021).

Atualmente a constelação conta com 30 satélites operacionais sendo 8 satélites pertencentes ao bloco IIR, 7 satélites do IIR-M, 12 satélites do bloco IIF e 3 satélites do bloco GPS III/IIIF (GPS.GOV, 2021).

3.5.2 GLONASS

O GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) é um sistema similar ao GPS que foi projetado para proporcionar posicionamento 3D, velocidade, informações de tempo, sob quaisquer condições climáticas em nível local, regional e global. Esse sistema foi criado no início dos anos 1970, na antiga URSS pela *Soviet Union's Scientific Production Association of Applied Mechanics* e atualmente é operado e mantido pela *Russian Federation Space Forces*. Da mesma forma que o GPS foi concebido como um sistema militar, mas atualmente pode ser utilizado pelo público civil. O sistema tornou-se totalmente operacional em 1995 com 24 satélites ativos e um de reserva (MONICO, 2008).

Os satélites GLONASS orbitam a uma altitude média de 19100 km e possuem um período orbital de 11 horas e 15 minutos. Estão dispostos em 3 planos orbitais igualmente espaçados, possuindo 24 satélites em sua configuração básica (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2007).

No entanto, o sistema passou por um período de decadência devido à falta de lançamentos para reposição de satélites antigos ou com problemas no funcionamento. Dessa forma, no final do ano de 2002 a constelação GLONASS contava apenas com 7 satélites em operação (SEEBER, 2003). Atualmente conta com: 23 em operação, 2 em manutenção, 1 como peça de reposição e 2 em fase de testes (IAC, 2021).

3.5.3 GALILEO

O GALILEO é um sistema de posicionamento global que vem sendo desenvolvido pela ESA (*European Space Agency*), pela Comissão Europeia e indústria Europeia. Diferentemente do GPS e GLONASS esse sistema terá controle civil. Além disso, o sistema pretende ter interoperabilidade com as constelações GPS e GLONASS, porém será independente. A constelação completa irá contar com 30 satélites em órbita média, sendo 27 operacionais e três de reserva, distribuídos em três planos orbitais. A altitude é de 23600 km, com uma inclinação de 56 graus em relação ao plano equatorial, possuindo um período orbital de 14 h 4 min (MONICO, 2008).

Atualmente a constelação de satélites GALILEO conta com 24 satélites operacionais e 2 não operacionais (EUROPEAN GSA, 2021).

3.5.4 BEIDOU

O CNSS (Compass Navigation Satellite System) ou BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System) ou ainda BDS, começou a ser desenvolvido pela China nos anos 1980 para atender as necessidades de segurança nacional, econômica e social do país (China Satellite Navigation Office, 2019). Esse sistema de navegação por satélite foi lançado em três fases. Na primeira fase ocorreu a construção do BDS-1 (BeiDou Navigation Satellite Demonstration System), com lançamento de três satélites geoestacionários entre os anos de 2000 a 2003 para demonstração do sistema e visando fornecer serviços para a China. A segunda fase ou BDS-2 ocorreu entre os anos 2004 a 2012, colocando em operação 14 satélites (5 de órbita geoestacionária, 5 de órbita geossíncrona e 4 de órbita média da Terra (MEO)) fornecendo serviço para o território chinês e partes da Ásia e do Pacífico. A terceira e última fase (BDS-3) é composta por uma constelação global que entrou em vigor em junho de 2020, sendo composta por 55 satélites em órbita transmitindo sinais abertos e autorizados em três frequências (B1, B2 e B3) (CHINA SATELLITE NAVIGATION OFFICE, 2019; SETTI JÚNIOR et. al., 2020).

A constelação BDS é composta por uma série de satélites localizados na Órbita Terrestre Geoestacionária (GEO), Órbita Geo-Síncrona Inclinada (IGSO) e Órbita Terrestre Média (MEO). O BDS possui três grandes características: primeiro, é uma constelação híbrida, com satélites operando em três tipos de órbitas. Segundo, fornece navegação de múltiplas frequências melhorando a precisão do serviço ao usar sinais combinados de multifrequência. E terceiro, integra a função de navegação e comunicação oferecendo vários recursos e serviços (posicionamento, navegação, tempo, comunicação de mensagem curta, busca e salvamento internacional, aumento baseado em satélite, PPP, entre outros) (BEIDOU NAVIGATION SATELLITE SYSTEM, 2021).

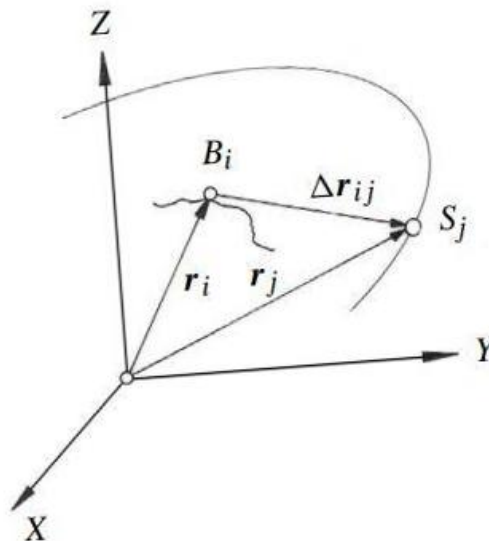
3.6 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O posicionamento por satélites refere-se à determinação da posição de objetos em relação a um referencial e épocas específicas, podendo ser realizado

por meio de diferentes técnicas e empregando diferentes observáveis. As observáveis fundamentais utilizadas no posicionamento GNSS são o código e a fase da onda portadora. No caso dos satélites GPS, cada satélite transmite pelo menos duas ondas portadoras: L1 (frequência de 1575,42 MHz) e L2 (frequência de 1227,60 MHz), sendo que satélites pertencentes ao Bloco IIF transmite uma terceira onda portadora designada L5 com frequência de 1176,45 MHz.

Distintos níveis de precisão e acurácia podem ser alcançados, os quais variam desde algumas dezenas de metros até milímetros. Um esquema do posicionamento absoluto é apresentado na Figura 4.

FIGURA 4 - ESQUEMA DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES



FONTE: Seeber (2003).

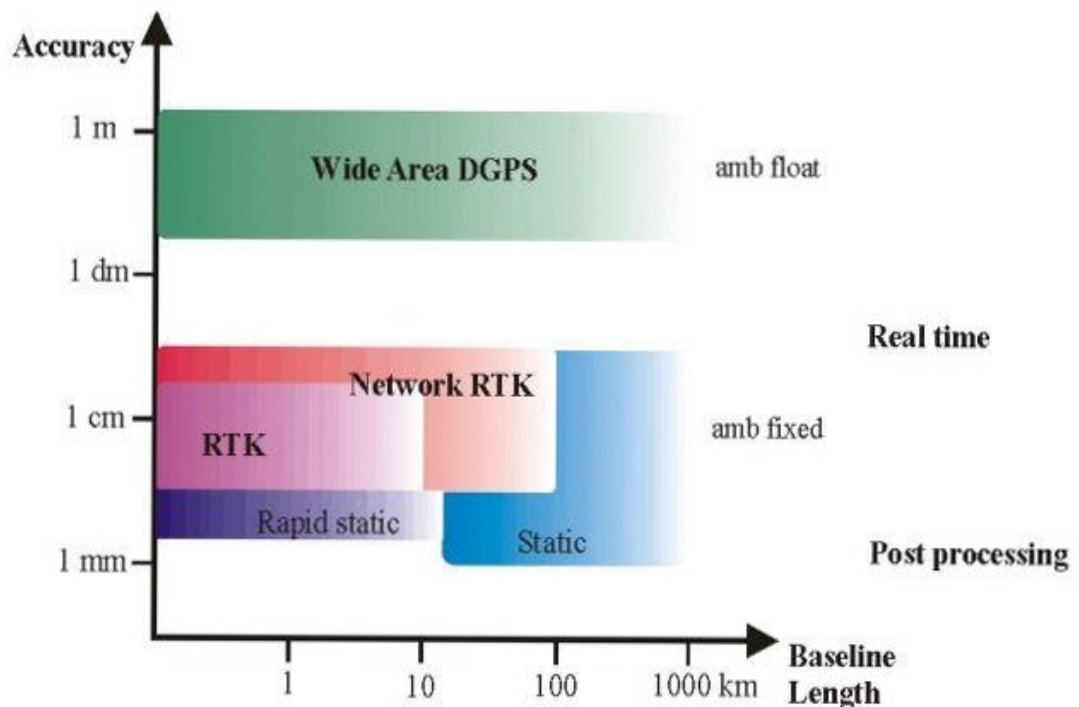
Em geral o posicionamento GNSS visa a determinação da posição do observador, B_i . Para isso, é necessário que se tenha conhecimento da posição do satélite (S_j) e se obtenha o vetor (Δr_{ij}) entre o satélite e o observador por meio das observáveis GNSS. A Figura 4 apresenta um esquema simplificado para melhor entendimento, no entanto são necessários no mínimo 4 satélites para a determinação da posição do observador (B_i) num determinado instante de tempo.

O posicionamento normalmente é realizado a partir da fase de batimento da onda portadora e da pseudodistância. A primeira é a observável indispensável em posicionamentos que requeiram melhor precisão, podendo fornecer resultados com precisão relativa da ordem de milímetros, desde que levados em consideração

todos os erros sistemáticos envolvidos no posicionamento. Já os posicionamentos que empregam exclusivamente a observável pseudodistância, apresentam precisões de magnitude métrica, pois utilizam o código para determinar a distância entre o satélite e o receptor (NAKAO & KRUEGER, 2017).

Na Figura 5 é apresentada a precisão esperada/estimada de acordo com o comprimento da linha de base e o método de posicionamento a ser empregado.

FIGURA 5- PRECISÃO ESPERADA PARA DIFERENTES MÉTODOS DE POSICIONAMENTO CONFORME A LINHA DE BASE UTILIZADA.



FONTE: Willgalis et al. (2002).

O posicionamento pode ser classificado, de forma geral, em absoluto, relativo e diferencial.

- Posicionamento Absoluto (ou por ponto): as coordenadas são determinadas no momento do rastreamento e estão relacionadas ao geocentro;
- Posicionamento Relativo: a posição do ponto é determinada com relação a outro(s) ponto(s) com coordenada(s) conhecida(s);
- Posicionamento Diferencial: a posição do receptor móvel é determinada em tempo real através da aplicação de correções

diferenciais enviadas por uma ou mais estações de referência no formato RTCM.

A seguir serão apresentados os métodos de posicionamento utilizados nesta pesquisa, sendo eles: Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), Posicionamento Relativo e Posicionamento RTK. Sendo abordado ainda o Posicionamento RTX, não empregado nesta pesquisa, porém de grande importância na agricultura.

3.6.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Esse método de posicionamento consiste em um posicionamento absoluto com coleta de dados (pseudodistância e fase da onda portadora) por receptores de simples ou dupla frequência, sendo estes dados pós-processados. Nessa etapa são introduzidas as efemérides e correções para os relógios dos satélites disponibilizadas por fontes como o IGS (*Internacional GNSS Service*), sendo que a principal característica deste método é a correção de todos os erros sistemáticos envolvidos no processo de posicionamento com GNSS. Os dados coletados podem ser processados tanto na forma estática ou cinemática.

No Brasil está disponível o IBGE-PPP que é um serviço online gratuito para pós-processamento de dados GNSS, possibilitando o processamento de dados GPS e GLONASS coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático. O IBGE-PPP utiliza o programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*) (IBGE, 2019).

Para a realização do processamento o usuário necessita do arquivo de observações GNSS nos formatos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) ou HATANAKA. O IBGE-PPP emprega correções de orbitas e relógios dos satélites, correções dos efeitos da ionosfera, dos desvios e variação do centro de fase das antenas (satélite e receptor), parâmetros de transformação entre referenciais, modelos de carga oceânica, velocidade, pressão, temperatura, umidade e utiliza o Modelo de ondulação geoidal (MAPGEO2015) (IBGE, 2020). A precisão esperada para o Posicionamento por Ponto Preciso em um levantamento estático é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 – PRECISÃO ESPERADA PARA UM LEVANTAMENTO ESTÁTICO UTILIZANDO O POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO (PPP)

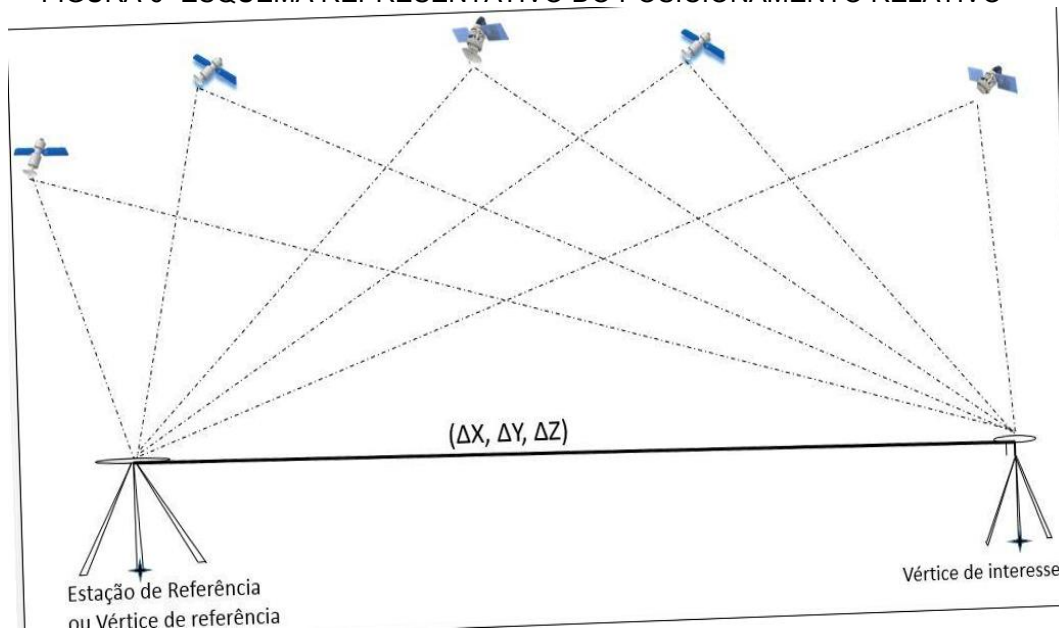
Tipo de receptor Tempo de rastreo	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico 2D (m)	Altimétrico 1D (m)	Planimétrico 2D (m)	Altimétrico 1D (m)
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

FONTE: Adaptado de IBGE (2017).

3.6.2 Posicionamento Relativo

No posicionamento Relativo as coordenadas de um ponto são determinadas em relação a um referencial materializado por uma ou mais estações chamadas de estações referência ou vértices de referência, as quais possuem suas coordenadas geodésicas conhecidas. Dessa forma, é necessário que exista a simultaneidade de observações entre a estação de referência e o ponto a ser determinado, como apresentado na Figura 6. O vetor formado entre as estações envolvidas (ΔX , ΔY , ΔZ) é determinado durante o processamento dos dados. A estação de referência a ser utilizada pode ser uma estação pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos dados GNSS (RBMC), o que, em alguns casos, dispensa a necessidade do uso de um segundo receptor para ser utilizado como vértice de referência.

FIGURA 6- ESQUEMA REPRESENTATIVO DO POSICIONAMENTO RELATIVO



FONTE: O autor (2020).

O posicionamento relativo possibilita a minimização de erros sistemáticos por meio das técnicas de diferenciação. Essa metodologia é eficaz, pois os erros que afetam o vértice de interesse são similares aos que afetam o vértice de referência, cujas coordenadas são conhecidas, desde que a distância entre as estações seja curta. Os erros sistemáticos não são totalmente eliminados, mas reduzidos significativamente com a adoção desse método (GEMAEL; ANDRADE, 2015). Tais erros englobam: os erros dos relógios dos receptores e dos satélites, os erros das órbitas, troposfera e ionosfera (MARQUES, 2008).

A magnitude da redução de tais erros é dependente da correlação existente entre as observações das estações de referência e móvel. Quanto menor a linha de base formada entre estas estações maior será a correlação entre os erros citados anteriormente.

As técnicas no método de posicionamento relativo pode ser classificado em: Estático, Estático Rápido, *Stop and Go* e Cinemático. No posicionamento Estático o receptor móvel, que ocupa o vértice de interesse, permanece parado durante todo o tempo do rastreamento. Este posicionamento difere do posicionamento Estático Rápido principalmente pelo tempo de rastreamento. Posicionamentos de 5 a 20 minutos são considerados Estático Rápido e acima de 20 minutos de ocupação no mesmo vértice é considerado Posicionamento Estático (MONICO, 2008). O posicionamento estático rápido é indicado para linhas de base de até 10 km (MONICO, 2000a).

Observa-se na tabela 2 que a precisão a ser obtida é função de fatores como comprimento da linha de base, tempo de observação e equipamento utilizado.

TABELA 2: PRECISÃO ESPERADA NO POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO E ESTÁTICO RÁPIDO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO, EQUIPAMENTO UTILIZADO E COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 -10 mm +1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 -10 mm +1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 -10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 horas	L1/L2	5 mm +1 ppm
50– 100 Km	> 3 horas	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	> 4 horas	L1/L2	5 mm +1 ppm

FONTE: Adaptado de IBGE (2008).

No método de posicionamento relativo cinemático um receptor ocupa uma estação de referência com coordenadas conhecidas e o outro receptor se desloca sobre as linhas ou feições de interesse. O receptor permanece coletando dados durante todo o percurso descrito, proporcionando a trajetória. O intervalo de gravação de dados deve ser configurado no receptor, em geral, 1 segundo, podendo variar de acordo com a aplicação. Neste posicionamento tem-se como observável fundamental a fase da onda portadora, no entanto o uso da pseudodistância é fundamental na resolução do vetor das ambiguidades (determinação do número inteiro de comprimentos de onda formado entre o satélite e o receptor). Nesse método as coordenadas tendem a ser determinadas com precisão se as ambiguidades estiverem resolvidas ou fixadas no processamento. Isto significa determina-las e mantê-las durante todo o processamento. Para isso é necessário utilizar alguma técnica de inicialização antes de iniciar o caminhamento. Uma das técnicas consiste em permanecer com o receptor móvel parado em um ponto qualquer na área, formando uma linha de base extremamente curta, coletando e armazenando dados por alguns minutos antes de iniciar o caminhamento (GEMAEL; ANDRADE, 2015; MONICO, 2008).

Segundo Seeber (2003) a precisão obtida com o método de posicionamento relativo cinemático é de 10 cm podendo atingir poucos centímetros em condições favoráveis (cobertura de satélites, ausência de multicaminho, etc).

3.6.3 *Real Time Kinematic (RTK)*

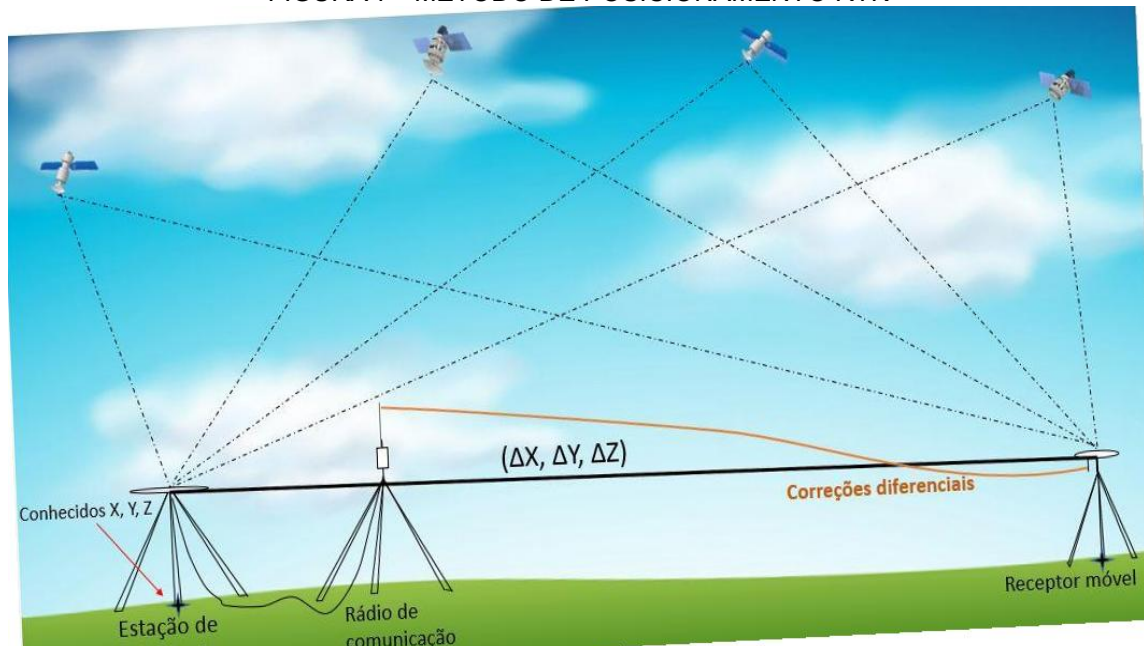
O posicionamento RTK é empregado quando se deseja posicionamento com alta precisão em tempo real e a precisão do método varia de milímetros até alguns centímetros (Figura 5). Nesse método um receptor permanece rastreando sobre um ponto de coordenadas conhecidas (estação de referência) e através de um link de comunicação (via rádio ou bluetooth, entre outras possibilidades) envia correções diferenciais para a pseudodistância e fase da onda portadora no formato RTCM para o receptor móvel (JUNIOR; KRUEGER, 2007), o qual percorre os vértices ou trajetórias de interesse. O receptor móvel possui um software para processamento dos dados em tempo real, proporcionando solução do vetor das ambiguidades e conseqüentemente das coordenadas em tempo real. Um esquema desse posicionamento é apresentado na Figura 7.

As correções diferenciais, em geral, são transmitidas em frequências na faixa do VHF/UHF, tornando o uso do RTK limitado ao alcance da transmissão (LANGLEY, 1998). Essas correções são enviadas em formato apropriado, definido pela RTCM (*Radio Technical Committee for Maritime Service*). Nesse método de posicionamento, a observável utilizada é a medida da fase da onda portadora, dessa forma, atingindo precisões centimétricas (KRUEGER et al., 2020).

A obtenção de tais níveis de precisão é possível devido à aplicação do sistema de correções diferenciais que permite a minimização da influência de alguns erros como: relógio do satélite, efemérides e propagação do sinal na atmosfera (KRUEGER, 1996).

A precisão obtida pelo método é dependente da linha de base formada, quanto mais próxima à estação de referência está do receptor móvel maior será a minimização de erros. À medida que a distância entre as estações aumenta, os erros que eram semelhantes em ambas, passam a ser menos correlacionados, resultando em uma degradação progressiva da qualidade do posicionamento à medida que aumenta a linha de base (PRADO; KRUEGER, 2006).

FIGURA 7 - MÉTODO DE POSICIONAMENTO RTK



FONTE: O autor (2019).

3.6.4 Sistema de aumento baseado em satélites (SBAS)

O Satellite-Based Augmentation System (SBAS), é um sistema regional ampliado que compõem o GNSS, sendo composto por satélites geoestacionários (GEO), visando corrigir erros contidos no posicionamento fornecido pelo GPS (MONICO, 2000b). Esse sistema entrou em operação no ano de 2003 (FAA, 2013) e melhora o desempenho dos sistemas GNSS, e dessa forma, corrigindo os erros de medição do sinal e fornecendo informações de precisão, integridade, continuidade e disponibilidade de seus sinais. O SBAS usa as medições feitas através do GNSS por estações de referência em todo o continente e os erros medidos do GNSS são enviados para um centro de computação central, onde são calculados e transmitidos através de satélites geoestacionários servindo como um aumento ou sobreposição à mensagem do GNSS original (EUROPEAN GSA, 2020).

Vários países implementaram seus próprios sistemas de aumento baseado em satélites como: Wide Area Augmentation System (WAAS) nos Estados Unidos, Michibiki Satellite Augmentation System (MSAS) no Japão, GPS auxiliado por GEO - Augmented Navigation (GAGAN) na Índia, BeiDou SBAS (BDSBAS) na China,

Sistema de Satélite de Aumentação da Coreia (KASS) em desenvolvimento na Coreia do Sul, Sistema para Correções Diferenciais e Monitoramento (SDCM) em desenvolvimento na Rússia, SBAS para a África e Oceano Índico (A-SBAS) em desenvolvimento e Southern Positioning Augmentation Network (SPAN) em desenvolvimento na Austrália e Nova Zelândia (EUROPEAN GSA, 2020).

O SBAS é essencial em aplicações onde necessita-se de precisão e integridade. Esse sistema é muito utilizado no setor de aviação onde precisa-se ter uma garantia legal ou comercial para a vida das pessoas a bordo. Além disso, esse sistema aprimora e amplia o escopo das aplicações GNSS para agricultura de precisão, gerenciamento de frota de veículos rodoviários entre outros (EUROPEAN GSA, 2020).

Essa tecnologia vem sendo adotada na Agricultura principalmente pela praticidade proporcionada ao usuário. A transmissão das correções diferenciais é realizada via satélites, não sendo necessário que o usuário adquira dois receptores. Dispensando a instalação de uma base RTK na área, diminuindo o custo inicial de aquisição do sistema. No entanto, o usuário deverá arcar com os custos de anuidade para ter a disponibilidade desse serviço. Estão disponíveis diferentes “pacotes comerciais” de diferentes empresas, os quais oferecem diferentes níveis de precisão ao agricultor, podendo então escolher aquele que apresentar melhor viabilidade técnica e econômica para sua propriedade.

3.7 INTERPOLADORES

Para a geração de MDT faz-se necessário o emprego de interpoladores objetivando a obtenção da altitude ou cota de pontos em que seu valor não foi amostrado e precisará ser estimado. Segundo Filho e Lochpe (1996, p.39) “interpolação é o método matemático no qual valores não definidos em uma localização podem ser calculados com base em estimativas feitas a partir de valores conhecidos em localizações vizinhas”.

Os interpoladores podem ser globais ou locais. Os globais utilizam todos os pontos amostrais para ajustar uma superfície, os quais não são recomendados quando a área apresenta grandes variações no relevo. A interpolação local utiliza apenas um conjunto próximo de amostras para estimar o valor de cada elemento

da grade, sendo então recomendada para modelagem do terreno. Ela utiliza poucos pontos, necessitando de poucas incógnitas e não considera a influência de regiões distantes (NAMIKAWA et al., 2003).

Os interpoladores podem ainda ser classificados em determinísticos e geoestatísticos. Segundo Johnston et al. (2001) os métodos determinísticos utilizam funções matemáticas para prever os valores, já os geoestatísticos empregam métodos matemáticos e estatísticos para criar superfícies e avaliar a incerteza das previsões. Entre os interpoladores determinísticos pode-se citar o *Inverse Distance Weighted* (IDW), *Triangulated Irregular Network* (TIN), *Inverse Distance to a Power* (IDP); e dentre os geoestatísticos cita-se: Krigagem, Cokrigagem.

3.7.1 Ponderação pelo inverso da distância (*Inverse Distance Weighting* - IDW)

O método de ponderação pelo inverso da distância é o método mais usado por analistas de SIG (Sistema de Informações Geográficas). Com base na lei de Tobler, o IDW estima medidas desconhecidas através de médias ponderadas de medidas conhecidas de pontos próximos, atribuindo maior peso aos pontos mais próximos (LONGLEY et al., 2013).

Para definir os pesos dos pontos, têm-se várias formas, mas comumente é utilizado o inverso do quadrado da distância. Os programas de SIG disponibilizam a opção de desconsiderar os pontos mais afastados de uma determinada distância, limitar a média a um número próximo de pontos ou calcular a média de pontos mais próximos em diferentes direções. Dessa forma, “a ponderação pelo inverso da distância (IDW) oferece uma forma simples de se estimar valores de um campo contínuo para locais onde não há medições disponíveis” (LONGLEY et al., 2013, p.375). O IDW como resultado, cria uma superfície suave, onde todos os pontos possuem valores parecidos aos pontos mais próximos do que aos pontos mais distantes (LONGLEY et al., 2013).

O IDW é considerado um método exato de interpolação, porque os pontos interpolados mantêm exatamente o valor dos pontos amostrados, isso porque, se usar esse indicador para estimar a componente z de um local onde z já foi medido, ele retornara o valor medido, pois o peso atribuído a um ponto com distancia zero em relação a ele mesmo tende ao infinito (LONGLEY et al., 2013).

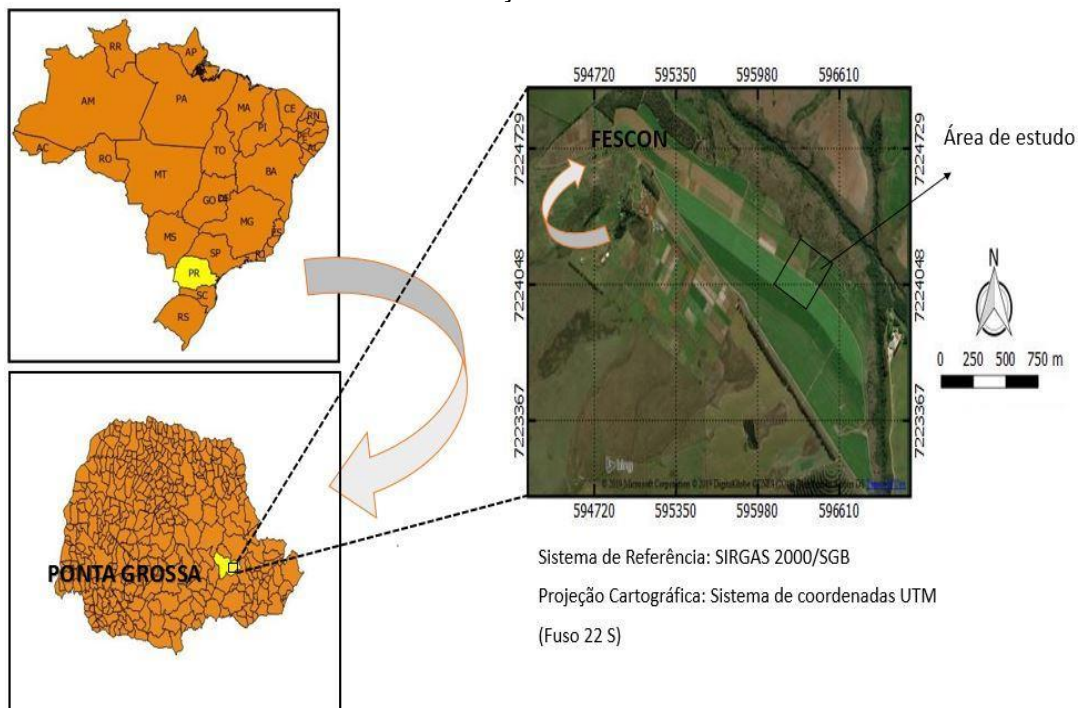
4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de coleta e processamento dos dados, bem como, a área de estudo e os equipamentos empregados nos levantamentos são abordados neste item.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 8) é uma área agrícola localizada na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON) pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). A FESCON está situada na Estrada Ponta Grossa/ Itaiacoca, Km 07, zona Rural do município de Ponta Grossa – Paraná. Esta fazenda escola é utilizada para atividades de pesquisa, ensino e extensão relacionadas às Ciências Agrárias da UEPG.

FIGURA 8- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.



Fonte: O autor (2019) com dados de IBGE, ITCG e Bing Maps.

Nesta área de estudo estão sendo desenvolvidas atividades de pesquisa referentes à Erosão dos solos Agrícolas. A Universidade Federal do Paraná (UFPR), por meio do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), está

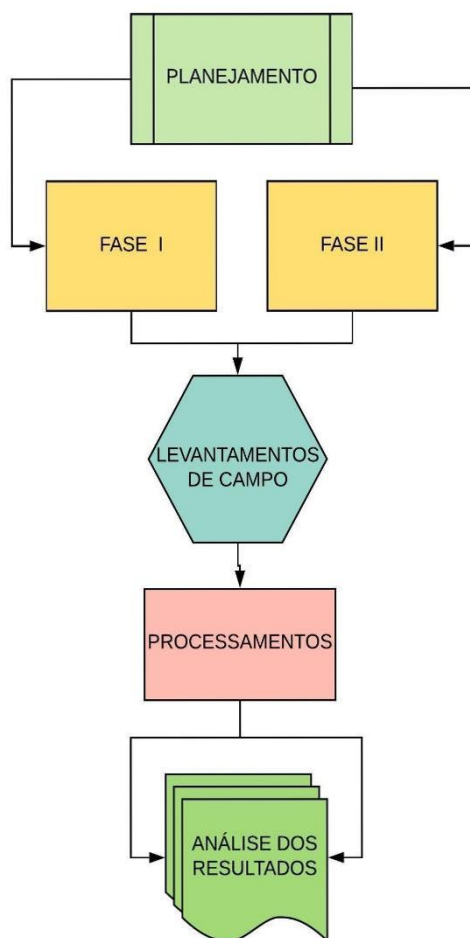
participando em parceria no desenvolvimento do projeto denominado “Modelos para Diagnóstico de Processos Erosivos em Solos Agrícolas” atuando no georreferenciamento de duas megaparcelsas localizadas na área de estudo. Nesta área as coordenadas geodésicas foram determinadas por meio do posicionamento por satélites e os desníveis por esta tecnologia, bem como, esses últimos pelo nivelamento geométrico. Através dessa parceria entre as universidades, os levantamentos foram efetuados e os resultados estão sendo apresentados nesse trabalho.

Os levantamentos foram realizados em uma área agrícola de 4,8 hectares, tendo dimensões aproximadas de 210 m por 230 m, estando as megaparcelsas supracitadas localizadas dentro da área. Atualmente, essa área é utilizada para agricultura, tendo como foco a produção de grãos (soja, milho, aveia, trigo, etc.).

4.2 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Visando atingir os objetivos propostos e indicados no item 2 a aquisição e a análise dos dados foram divididas em duas fases conforme apresentado na Figura 9. A Fase I visa à obtenção e análise de desníveis na área de estudo e a Fase II objetiva o levantamento planialtimétrico tendo em vista a geração de um MDT, o qual teve seus dados determinados a partir de diferentes métodos de posicionamento GNSS.

FIGURA 9- ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.



Fonte: O autor (2019).

Para que as duas fases (Fase I e Fase II) fossem desenvolvidas fez-se necessário à realização de levantamentos de campo, seguidos pelo processamento dos dados e a análise dos resultados. Nos itens 4.2.1 e 4.2.2 estão detalhadas as principais etapas envolvidas no desenvolvimento da Fase I e Fase II, respectivamente.

4.2.1 Fase I - Desníveis na área de estudo

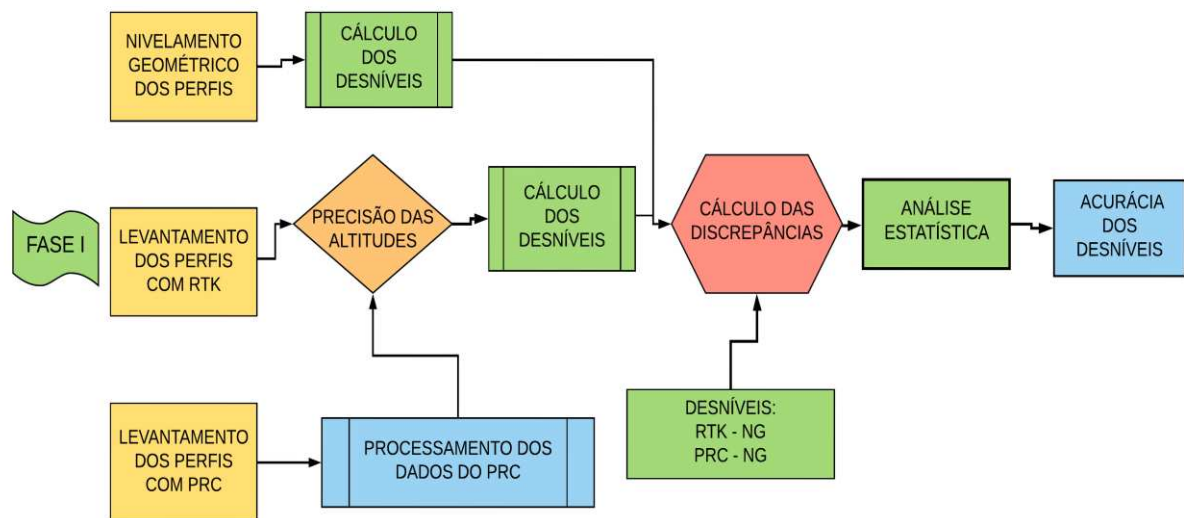
Nesta fase, o objetivo final é a análise da acurácia de desníveis obtidos por meio de diferentes métodos de posicionamento por satélites. Desta forma, perfis topográficos foram materializados na área de estudo por meio de estacas.

Visando garantir a análise da acurácia dos desníveis com alta qualidade, inicialmente, optou-se na determinação deles por meio de um nivelamento geométrico de visadas iguais. Empregou-se o nível digital indicado no item 4.3. Neste nivelamento adotou-se uma cota arbitrária e determinou-se o desnível entre os piquetes. Estes desníveis foram adotados como verdadeiros, ou seja, como reais.

Posteriormente os mesmos piquetes que compõem os perfis foram posicionados com os métodos de posicionamento RTK (Receptores GPS Leica 1200, Figura 17) e Posicionamento Relativo Cinemático (PRC) utilizando as ondas portadoras L1 e L2. Desta forma, os desníveis entre estes piquetes foram determinados de forma indireta realizando-se a subtração entre altitudes elipsoidais dos pontos. Vale ressaltar que essa metodologia de obtenção dos desníveis através da subtração das altitudes elipsoidais pode ser realizada pois trata-se de uma área pequena, onde pode-se considerar um paralelismo entre a superfície do Plano de Referência arbitrário com a superfície elipsoidal do GRS 80 ou WGS 84.

Na Figura 10, as principais etapas desenvolvidas na Fase I, são visualizadas.

FIGURA 10- ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FASE I.



FONTE: O autor (2020).

Os dados coletados com o PRC foram pós-processados com o programa Leica Infinity (item 4.4). As precisões alcançadas nas altitudes elipsoidais com o RTK e com estes processamentos foram analisadas. Posteriormente os desníveis

entre as estacas foram calculados, bem como, as discrepâncias entre os valores obtidos com os posicionamentos por satélites (RTK e PRC) e com aqueles considerados verdadeiros (nivelamento geométrico). Estes valores foram analisados estatisticamente, ou seja, determinadas as médias, desvios padrão, amplitude de variação e também foram aplicados testes estatísticos, a fim de verificar se as diferenças dos desníveis são significativas ou não. Para essa análise foi empregado o teste t de *Student*, tendo em vista que as amostras apresentaram distribuição normal conforme constatado aplicando o teste de normalidade Shapiro-Wilk. Posteriormente foi efetuada a análise da acurácia.

Na área de estudo (Figura 8) foram implantados 8 marcos de concreto que delimitam as duas megaparcels a serem estudadas. Estes marcos foram utilizados como pontos limítrofes dos perfis materializados em campo (Figura 11). Suas coordenadas geodésicas foram determinadas com o pós-processamento dos dados coletados por um posicionamento relativo estático empregando-se como estação de referência o marco denominado BASE21 (Figura 12) localizado na área de estudo. Nestes levantamentos foram utilizados os receptores Leica 1200 e Leica 900 (Item 4.3). As coordenadas da estação de referência (BASE 21) foram obtidas através do pós processamento dos dados coletados por meio de um posicionamento relativo estático empregando-se a estação de Curitiba-UFPR (RBMC) como referência.

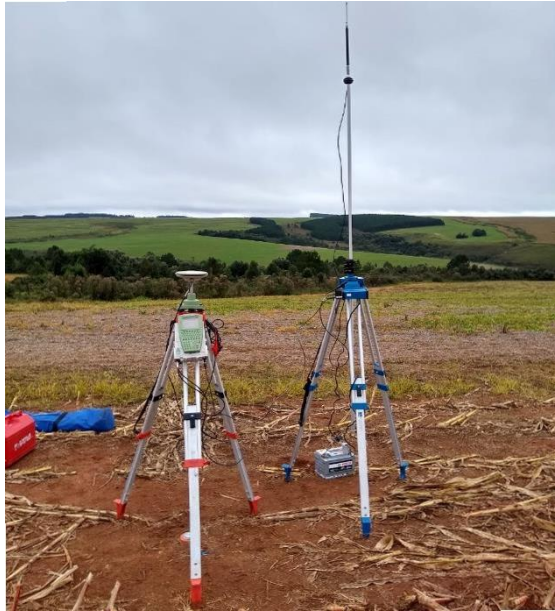
FIGURA 11- PERFIS MATERIALIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: Adaptado de Google Earth Pro (2020).

Posteriormente estas estacas foram posicionados pelo método RTK e pelo posicionamento relativo cinemático (PRC) utilizando os receptores apresentados na Figura 16. A estação de referência foi instalada no marco BASE 21 e a estação móvel ocupou cada estaca por um período de 100 observações contínuas, gerando conseqüentemente cerca de 100 altitudes elipsoidais para cada piquete. O equipamento foi configurado para gravar dados brutos a cada 1 segundo, possibilitando ainda o pós-processamento dos dados. A máscara de elevação empregada foi igual a 10 graus.

FIGURA 12– ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA RTK INSTALADA SOBRE O MARCO BASE 21.



FONTE: O autor (2019).

No nivelamento geométrico realizado ao longo dos perfis (Figura 13) foi utilizado o equipamento DNA 03, apresentado na Figura 20, com mira de Invar. Efetuou-se um nivelamento geométrico por visadas iguais com uma tolerância altimétrica de $12 \text{ mm}\sqrt{K}$ sendo classificado como nivelamento classe IN pela NBR 13133 (ABNT, 1994).

FIGURA 13- NIVELAMENTO GEOMÉTRICO SENDO REALIZADO NA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: O autor (2019).

Na etapa seguinte foi realizado o processamento dos dados GNSS coletados pelo método de posicionamento relativo cinemático (PRC), tal processamento foi realizado no software Leica Infinity, empregando as duas ondas portadoras separadas e sem combinação linear. Nos relatórios de processamento foram analisados os resíduos da Dupla Diferença de Fase (DDF), o PDOP (*Position DOP*), o número de satélites observados, a solução das ambiguidades e os desvios padrão associados às coordenadas obtidas, principalmente para a coordenada altimétrica. Posteriormente, os cálculos dos desníveis obtidos através das altitudes dos posicionamentos por satélites foram efetuados.

A partir da análise das discrepâncias entre os desníveis obtidos pelo Posicionamento RTK, Posicionamento Relativo Cinemático (L1 e L2) e os desníveis ditos verdadeiros (nivelamento geométrico), foi possível determinar a acurácia dos métodos RTK e PRC na determinação dos desníveis nesta área de estudo. Foi realizada a análise estatística para as discrepâncias de cada um dos métodos de posicionamento utilizados na determinação dos desníveis. A partir dessa análise foi possível averiguar se as discrepâncias entre os desníveis obtidas pelos diferentes métodos são aceitáveis para as aplicações que possam ser propostas na agricultura.

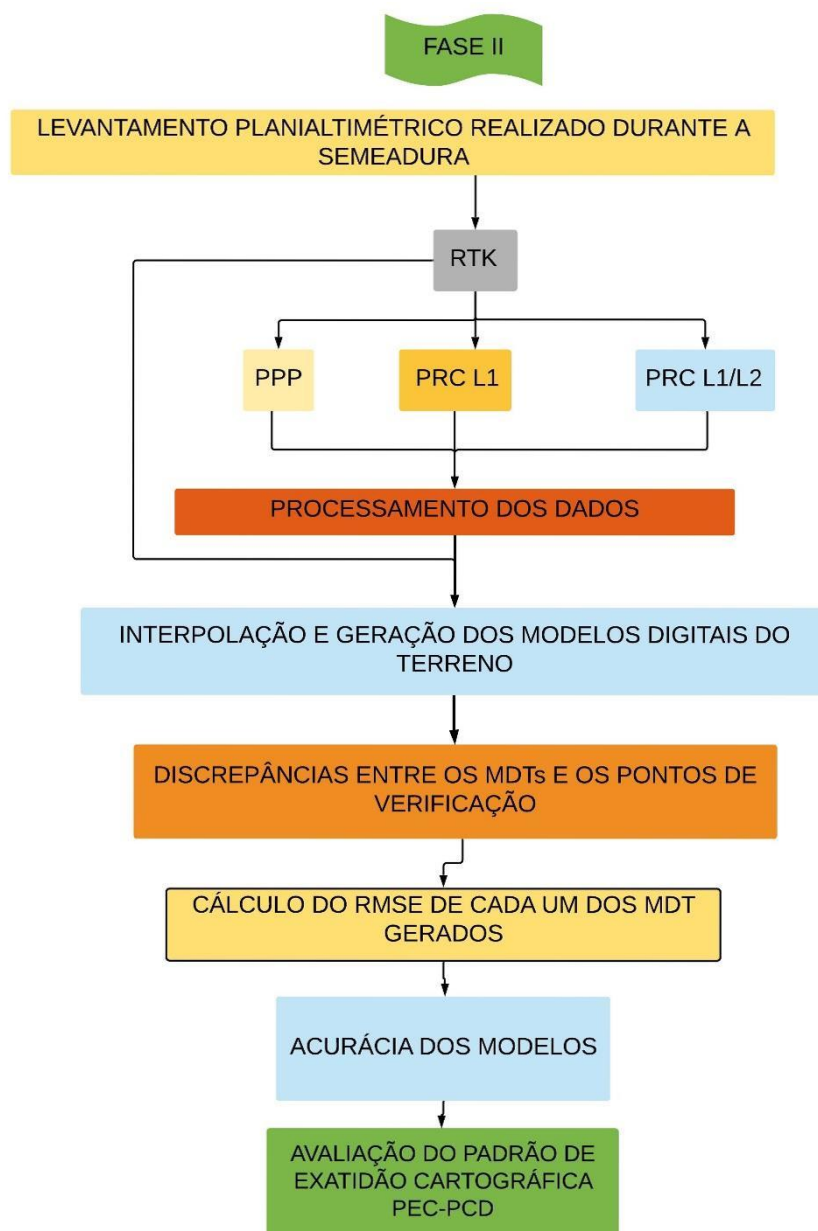
4.2.2 Fase II - Levantamento Planialtimétrico da Área de Estudo

O desenvolvimento da Fase II (Figura 9) possibilitou a análise da acurácia dos MDT gerados com coordenadas planialtimétricas obtidas por diferentes métodos de posicionamento por satélites.

O levantamento foi realizado juntamente com a operação de semeadura, que é uma atividade programada dentro do manejo desta área. Optou-se por utilizar a semeadura, devido à maior confiabilidade dos dados e menor incidência de erros no levantamento quando comparada a outras operações agrícolas realizadas no solo, conforme descrito por Brutti (2014) e Jendrzikowski (2018).

No levantamento realizado com o trator os métodos de posicionamento RTK e PRC foram empregados, bem como posteriormente o PPP. Na Figura 14 as etapas que constituem esta fase são apresentadas, bem como, descritas na sequência.

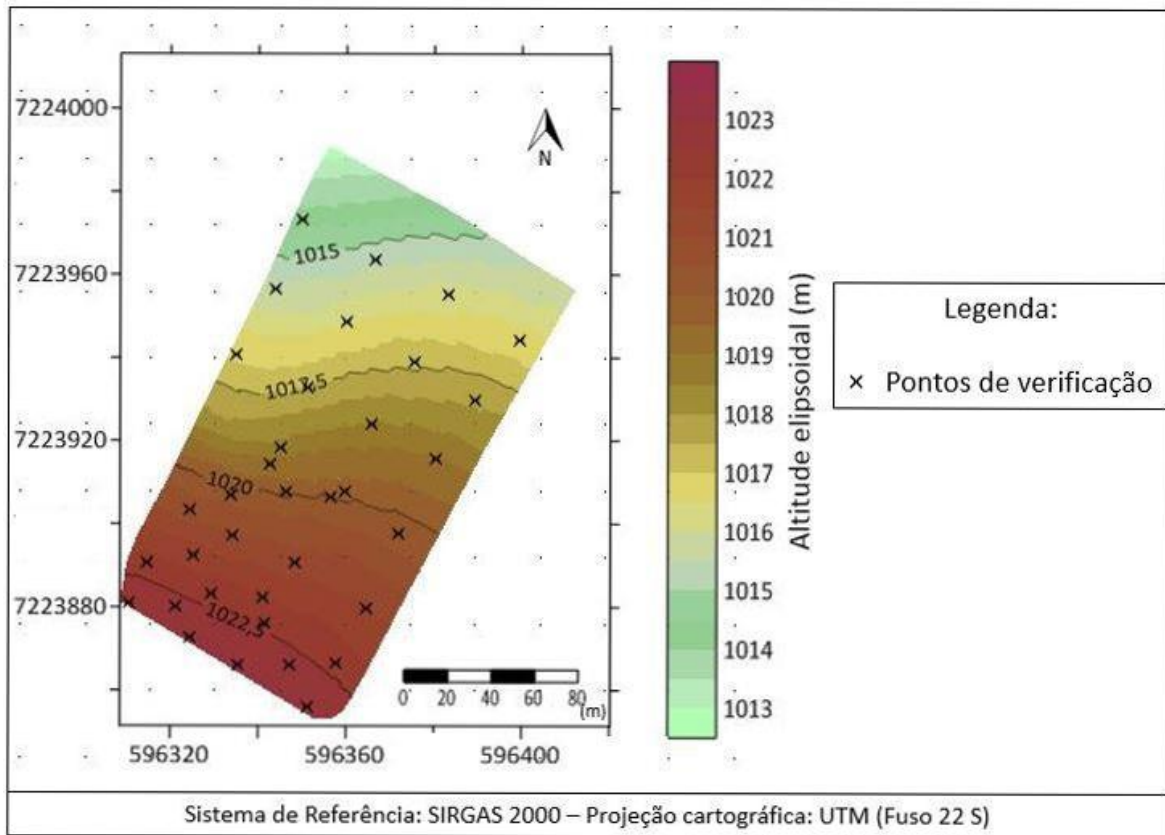
FIGURA 14- ESQUEMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA FASE II.



FONTE: O autor (2021).

Na Figura 14 verifica-se que as discrepâncias entre os modelos gerados pelos diferentes métodos foram calculadas em relação a pontos de verificação (Figura 15). Estes pontos foram posicionados com o método de Posicionamento Relativo Estático Rápido e foram implantados, em geral, com espaçamento de 20 m x 20 m, contudo alguns pontos adicionais foram levantados em locais com maior variação do relevo.

FIGURA 15- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: O autor (2021).

4.2.2.1 Levantamento da área utilizando receptor GNSS acoplado ao trator

O levantamento foi realizado utilizando o receptor Leica 1200 (Figura 17) acoplado ao trator (Figura 21) durante a operação agrícola de semeadura. Essa metodologia de levantamento permitiu a aquisição de dados durante a operação agrícola, não agregando maiores custos para a sua execução e economizando tempo de levantamento. O espaçamento entre as linhas de coleta de dados é dependente da largura da semeadora utilizada, neste caso de 3,2 metros. O receptor foi acoplado na parte superior da cabine (Figura 16) do trator utilizando um suporte para receptores GNSS que possui imã, o que garantiu a fixação ao trator. Para essa pesquisa foi utilizado somente os dados do receptor Leica 1200 (Figura 17).

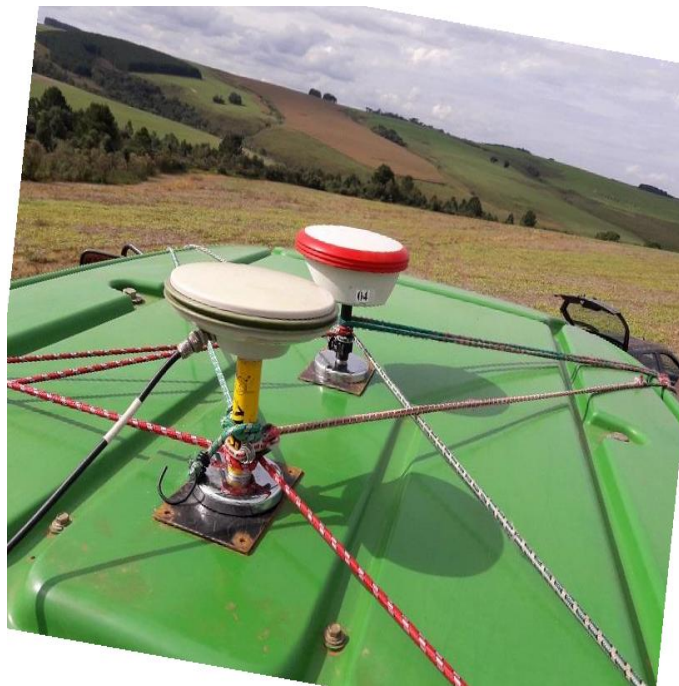
O receptor foi configurado em modo RTK, no entanto os dados brutos foram armazenados visando o pós-processamento. A estação de referência foi implantada no marco BASE21. Os equipamentos, assim como na fase anterior, foram

configurados com um intervalo de gravação de dados de 1 segundo e com máscara de elevação de 10 graus.

A altura da antena foi medida em campo utilizando uma trena e inserida nas configurações para que as coordenadas estivessem referenciadas ao nível do solo e não da antena do receptor.

Como dito anteriormente os dados brutos foram armazenados para pós-processamento visando a análise dos métodos de posicionamento PRC e PPP. Desta forma, visando atender o que recomenda a literatura (item 3.6.2) foi necessário efetuar uma inicialização antes de o trator percorrer a área, que consistiu no trator permanecer parado por cerca de 30 minutos com o receptor já rastreando.

FIGURA 16- RECEPTORES ACOPLADOS AO TRATOR PARA COLETA DE DADOS DURANTE A SEMEADURA.



FONTE: O autor (2019).

4.2.2.2 Processamento dos dados

No pós-processamento dos dados coletados durante a semeadura (item 4.2.2.1) empregou-se o software Leica Infinity, bem como, o serviço online IBGE-PPP. No primeiro caso foram utilizadas, nesta etapa, as observáveis onda portadora L1 e L2 e apenas a observável onda portadora L1. Nesses processamentos foi

empregado o modo relativo, sendo utilizada a estação de referência implantada na área como estação base.

No total deste levantamento foram obtidos 4 conjuntos de dados, sendo: um conjunto com as soluções obtidas com o RTK em tempo real, dois conjuntos com as soluções obtidas pelo software Leica Infinity (solução L1 e L2 e apenas solução L1) e um conjunto com as soluções do IBGE-PPP.

Os dados quando enviados ao IBGE-PPP devem estar no formato RINEX, sendo encaminhados pela página do IBGE, bem como, deve-se indicar a altura da antena utilizada durante o levantamento (caso não esteja indicada no cabeçalho do arquivo RINEX) e a opção cinemática deve ser selecionada.

Os quatro conjuntos de dados obtidos com a operação de sementeira tiveram suas precisões analisadas.

Os dados coletados nos pontos de verificação foram processados com o software Leica Infinity, sendo analisada a solução obtida, o PDOP, o número de satélites e a precisão para as coordenadas geradas.

4.2.2.3 Interpolação e Geração dos Modelos Digitais do Terreno

Nessa etapa empregou-se o software Surfer apresentado no item 4.4. Os arquivos de entrada neste software contêm as coordenadas dos pontos que compõe a trajetória descrita.

Nesta pesquisa foi utilizado o interpolador IDW (descrito no item 3.7.1) tendo em vista que é um interpolador bastante empregado, está disponível nos principais softwares de análise de dados espaciais, não demanda grande capacidade de processamento para o computador. Além disso, dispensa a necessidade de geração e ajuste de semivariogramas, o que exige maior conhecimento na área de geoestatística, corroborando com as conclusões de ALVES e KRUEGER, (2020). Além desses fatores, pesa o fato de que alguns autores como DECLERCQ (1996), BRUS, *et al* (1996), MIRANDA *et al.* (2018) e MIRANDA (2017), obtiveram bons resultados com o interpolador IDW, sendo os dois últimos em amostras superiores a 500 pontos.

4.2.2.4 Acurácia dos modelos digitais do terreno

A acurácia dos MDT foi avaliada por meio da comparação de pontos de verificação com seus respectivos, presentes nos MDT. Conforme citado anteriormente os pontos de verificação foram adotados como verdadeiros e tiveram as suas precisões analisadas a priori.

Dessa forma foi possível verificar a qualidade altimétrica de cada modelo gerado, bem como, definir quais dos métodos de posicionamento (PPP, RTK, PRC) apresentaram os melhores resultados. Se os modelos se mostrarem acurados, a pesquisa servirá de apoio e subsídio aos levantamentos futuros que possam ser realizados na agricultura.

No caso dos modelos gerados a partir das soluções alcançadas com o processamento de dados coletados com o PRC optou-se por duas análises (modelo L1L2 e modelo L1), conforme descrito na Fase II, item 4.2.2. Optou-se pela avaliação do modelo gerado através do processamento empregando apenas a observável L1, visto que, diversos usuários dispõem de receptores de monofrequência para a coleta de dados em face do menor custo de aquisição do receptor e ainda estão presentes em algumas máquinas agrícolas.

O modelo obtido com as soluções PPP foi analisado quanto a sua acurácia visando futura aplicabilidade nos levantamentos na agricultura, visto que este método proporciona redução de custos já que não necessita de implantar uma estação base e dispensa o processamento dos dados por parte do usuário.

As discrepâncias observadas entre os MDT e os pontos de verificação foram avaliadas estatisticamente. A média, desvio padrão e amplitude das discrepâncias foram analisados. Além disso, a partir das discrepâncias procedeu-se o cálculo do REQM de cada um dos MDT gerados e realizou-se a sua avaliação de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD.


4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Na coleta de dados nesta pesquisa foram empregados receptores GNSS e nível digital, bem como, um trator e uma semeadora. Na sequência são apresentadas as principais especificações técnicas de cada um deles.

- Receptor GNSS LEICA 1200

O equipamento foi disponibilizado pelo LAGEH (UFPR), e opera com as constelações de satélites GPS e GLONASS e possibilita coletar dados para o pós-processamento, bem como, determina coordenadas geodésicas pelo método RTK. Suas especificações técnicas são apresentadas na Figura 17.

FIGURA 17- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS LEICA 1200.


GPS Leica 1200			
	Método de Posicionamento		
	Relativo Estático	Relativo Cinemático	RTK (cinemático)
	Horizontal: 5 mm + 0,5 ppm Vertical: 10 mm + 0,5 ppm	Horizontal: 10 mm + 1 ppm Vertical: 20 mm + 1 ppm	Horizontal: 10 mm + 1 ppm Vertical: 20 mm + 1 ppm
Características			
12 canais L1	Código C/A e fase das ondas portadoras L1 e L2		
12 canais L2			

FONTE: Adaptado de Leica Geosystems (2008).

- Receptor Leica GPS 900

Os receptores Leica GPS 900 foram disponibilizados pelo LABTOPO (UFPR) e operam com a constelação GPS, possibilitando a coleta de dados para o pós-processamento. Na Figura 18 estão indicadas as suas especificações técnicas.

FIGURA 18- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS LEICA 900.


GPS Leica 900		
	Métodos de Posicionamento	
	Relativo Estático	Relativo Cinemático
	Horizontal: 5 mm + 0,5 ppm	Horizontal: 10 mm + 1 ppm
	Vertical: 10 mm + 0,5 ppm	Vertical: 20 mm + 1 ppm
	Características	
	12 canais L1	Código C/A e ondas portadoras L1 e L2.
	12 canais L2	

FONTE: Adaptado de Leica Geosystems (2019).

- Receptor GNSS Hiper SR

Os receptores Hiper SR, cedidos pelo LAGEH (UFPR), foram utilizados na coleta de dados visando o pós-processamento dos dados. Eles operam com as constelações GPS e GLONASS. As especificações técnicas deste receptor estão indicadas na Figura 19.

FIGURA 19- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS HIPER SR.

Hiper SR		
	Método de Posicionamento - (Precisão)	
	Relativo Estático (L1 / L2)	Relativo Cinemático / RTK
	Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm	Horizontal: 10 mm + 1 ppm
	Vertical: 5 mm + 0,5 ppm	Vertical: 15 mm + 1 ppm
	Características	
	Constelações: GPS + GLONASS	Código C/A e fase das ondas portadoras L1 e L2; Comunicação: RTK Long Link- comunicação bluetooth;

FONTE: Adaptado de TOPCON (2012).

- Nível Digital Leica DNA 03

O Nível Digital DNA 03 foi empregado em nivelamento geométrico na área em estudo e foi disponibilizado pelo LABTOPO (UFPR). As especificações técnicas deste equipamento são apresentadas na Figura 20.

FIGURA 20- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO NÍVEL DIGITAL LEICA DNA 03.

Nível Digital Leica DNA 03			
	Especificações Técnicas		
	Medição de altura Desvio padrão por Km de visada dupla:	Mira de invar	0,3 mm
		Mira Padrão	1,0 mm
	Medição de distâncias Desvio padrão	5 mm / 5 m	
	Sensibilidade nível de bolha	8' / 2mm	
	Precisão da centragem	0,3"	

FONTE: Adaptado de Leica Geosystems (2006).

- Trator JOHN DEERE 7515

O trator John Deere 7515 empregado nos levantamentos foi disponibilizado pela UEPG e algumas de suas especificações técnicas estão apresentadas na Figura 21.

FIGURA 21- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRATOR JOHN DEERE 7515.

Trator John Deere 7515		
	Especificações Técnicas	
	Potência	140 cv
	Número de Cilindros	6 cilindros
	Peso no eixo dianteiro	2465 Kg
	Peso no eixo traseiro	3505 Kg
	Peso total	5970 Kg
	Altura	2844 mm
	Distância entre eixos	2650 mm
	Comprimento total com pesos	4969 mm

FONTE: Adaptado de JOHN DEERE (2006).

- Semeadora

Foi utilizada uma semeadeira Semeato acoplada ao trator John Deere 7515 para a realização da semeadura. Ela possui 4 linhas e é destinada a semeadura do milho, possuindo espaçamento de 0,8 m entre linhas. Pertence a UEPG.

4.4 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

Visando o processamento dos dados coletados em campo e a geração dos MDT, bem como, a análise dos resultados alcançados, alguns programas foram empregados e estão descritos na sequência.

- Leica Infinity

O Leica Infinity é um software comercial desenvolvido pela Leica Geosystems que permite a realização do pós-processamento de dados GNSS coletados em campo.

- Surfer

O Surfer é um software desenvolvido pela Golden Software que permite a visualização, modelagem dos dados e a confecção de mapas a partir de dados espacialmente distribuídos. Inicialmente foi desenvolvido para plataforma DOS®, a partir da versão 6 passou a ser executado na plataforma WINDOWS. Ele vem sendo aprimorado ao longo do tempo e atualmente encontra-se na versão 16.1. O Surfer será utilizado na geração dos MDT com as coordenadas geodésicas obtidas por meio do posicionamento por satélites.

5 RESULTADOS

Conforme exposto no item 5, todos os levantamentos correspondentes às Fases I e II foram efetuados e na sequência são apresentados os resultados alcançados e as análises efetuadas.

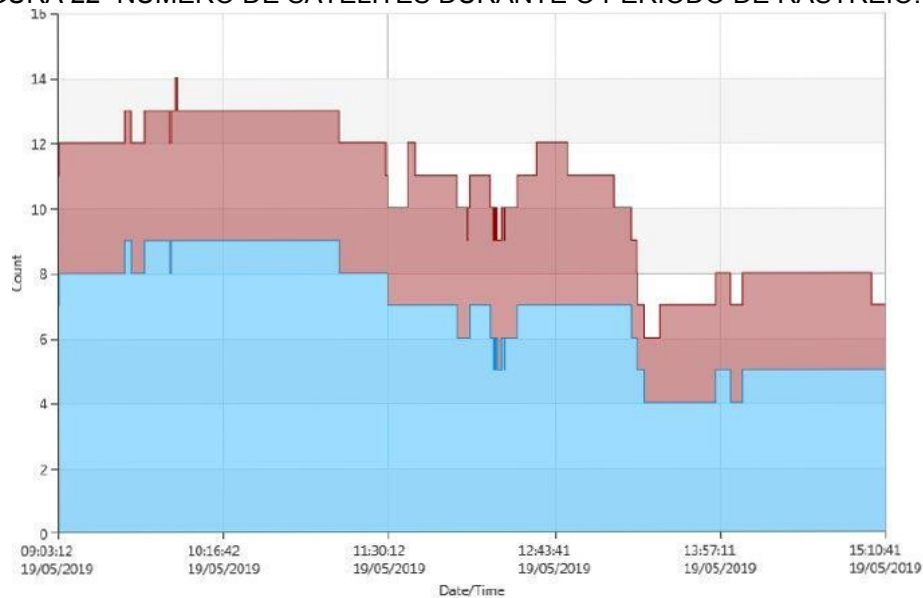
5.1 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA IMPLANTADA NA ÁREA DE ESTUDO

Assim como apresentado no item 4.2.1 uma estação de referência foi instalada na área de estudo sobre o marco denominado BASE21. As coordenadas geodésicas precisas da BASE21 foram determinadas por meio do pós-processamento dos dados utilizando o software Leica Infinity. Nesse

processamento adotou-se como referência a estação denominada CURITIBA-UFPR pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). As efemérides precisas foram introduzidas no processamento. Nos relatórios de processamento foram avaliados: os resíduos da Dupla Diferença de Fase (DDF), o PDOP (*Position DOP*), o número de satélites observados, a solução das ambiguidades e os desvios relativos associados às coordenadas obtidas. Estas análises conduzem a obtenção da melhor solução durante o processamento.

Na Figura 22 é apresentado o número de satélites observados durante todo o período de rastreamento.

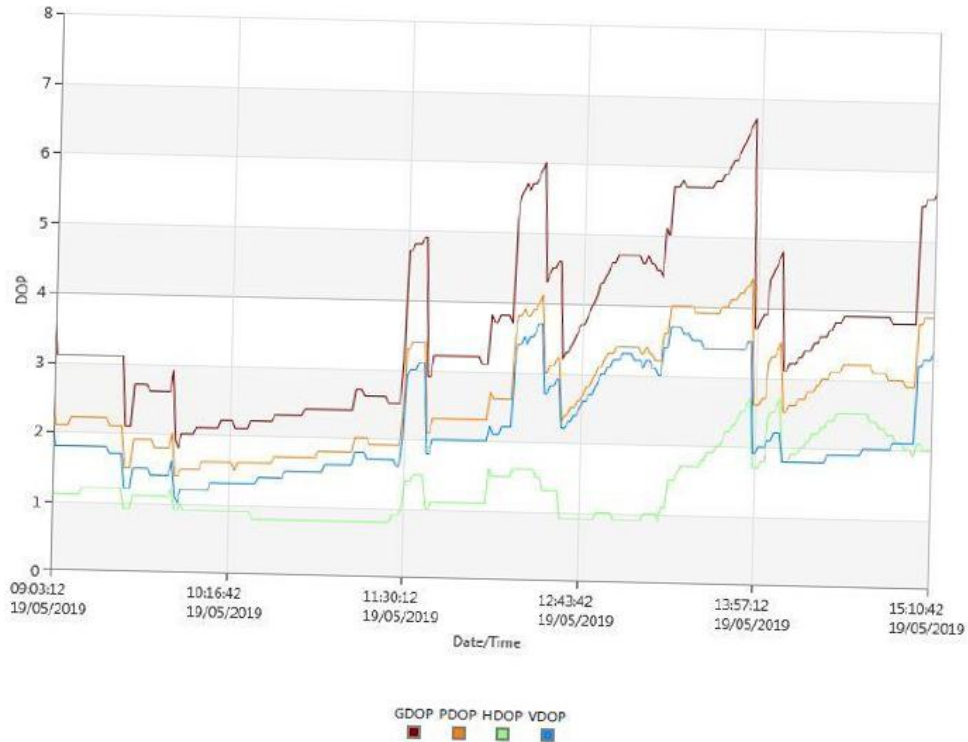
FIGURA 22- NÚMERO DE SATÉLITES DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO.



FONTE: O autor (2019).

Nota-se que, em geral, o número de satélites foi superior a 6 durante todo o rastreamento, apresentando momentos com maior disponibilidade, chegando a 14 satélites observados. Na Figura 23 estão indicados os valores de PDOP, os quais inferem sobre a qualidade do levantamento.

FIGURA 23- VALORES DE DOP DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO.



FONTE: O autor (2019).

Os valores de PDOP (Figura 23), em geral, mantiveram-se inferiores a 4, sendo adequado tendo em vista que o recomendado é que os valores sejam inferiores a 6 (LANGLEY, 1999). O DOP indica a qualidade da geometria dos satélites acima do horizonte no momento da coleta dos dados (LANGLEY, 1999). O PDOP representa o inverso do volume de um tetraedro formado pela posição do usuário e dos satélites, com isso a melhor geometria ocorre quando o PDOP é mínimo (SETTI JÚNIOR e ALVES, 2017). Além disso, avaliou-se a solução das ambiguidades, indicada na Tabela 3.

TABELA 3- SOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES OBTIDAS DURANTE O PROCESSAMENTO

% de Épocas	GPS		GLONASS	
	L1 (%)	L2 (%)	L1 (%)	L2 (%)
Fixa	99,96	99,96	100,00	100,00

FONTE: O autor (2019).

A solução obtida no processamento dos dados levou a 99,6% de ambiguidades fixas para o GPS e 100% para GLONASS (Tabela 3).

Após a análise destes parâmetros foram determinadas e aceitas as coordenadas para a estação de referência (BASE21) implantada na área de estudo.

Na Tabela 4 indica-se as coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal) em SIRGAS 2000 época 2000,4 e as precisões do processamento. Os valores de CQ (*Quality Control*) 3D, CQ 2D e CQ 1D correspondem a precisão planialtimétrica, precisão planimétrica e precisão altimétrica, respectivamente.

TABELA 4- COORDENADAS GEODÉSICAS E RESPECTIVAS PRECISÕES

Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal (m)	CQ 3D (m)	CQ 2D (m)	CQ 1D (m)
25° 05' 46,13736" S	50° 02' 38,78916" W	1003,7466	0,0005	0,0003	0,0005

FONTE: O autor (2019).

As precisões obtidas durante o processamento dos dados para a estação BASE21 foram da ordem de décimos do milímetro. Apresentando desvios de 0,3 mm na componente planimétrica (2D) e de 0,5 mm na componente altimétrica (1D).

5.2 OBTENÇÃO DOS DESNÍVEIS NA ÁREA DE ESTUDO

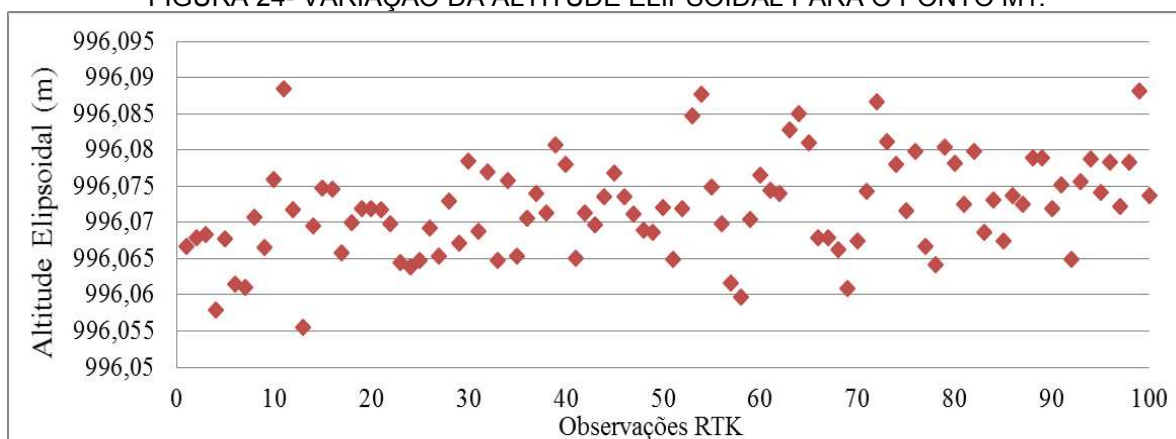
Conforme descrito no item 4.2.1 os desníveis entre os pontos implantados na área de estudo foram determinados através de posicionamento RTK e posicionamento relativo (L1/L2) adotando-se os desníveis obtidos por meio do NG como verdadeiros. Foram realizadas 100 observações GNSS sobre cada ponto implantado em campo, dessa forma foi possível verificar a precisão das altitudes obtidas.

5.2.1 Análise dos desníveis obtidos por meio do Posicionamento RTK

Analisando as altitudes advindas do posicionamento RTK pode-se observar que existe variação na altitude elipsoidal obtida ao longo das 100 observações para um mesmo ponto.

Esta variação, para o ponto M1 pode ser visualizada na Figura 24. Esse ponto apresentou valor máximo de 996,088 m e mínimo de 996,055 m com desvio padrão de 0,0066 m. Verificou-se que para alguns pontos essa variação foi mais significativa, por exemplo no ponto M2 a amplitude nos dados foi de 6,8 cm e o desvio padrão de 0,0087 m.

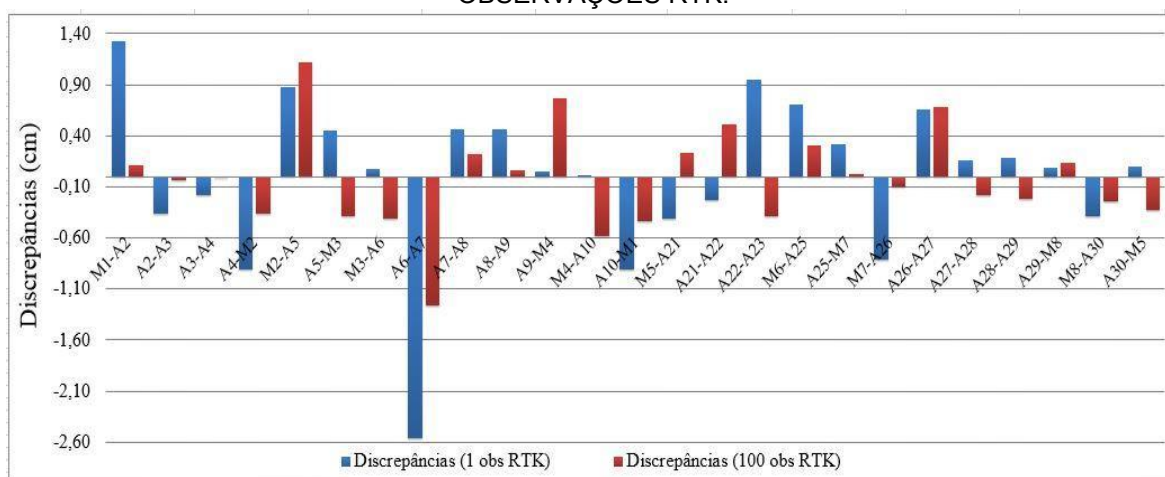
FIGURA 24- VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL PARA O PONTO M1.



FONTE: O autor (2020).

As precisões das altitudes obtidas em campo pelo RTK foram analisadas e a precisão média para cada ponto implantado na área (média das 100 observações) foi calculada. Essas precisões médias encontram-se na faixa de 0,0082 m a 0,0125 m. Considerando a variação existente para a altitude elipsoidal, decidiu-se utilizar a média das 100 observações para proceder ao cálculo dos desníveis entre os pontos. Entretanto, testou-se também o emprego de apenas uma observação (a primeira) no cálculo dos desníveis. Na Figura 25 são apresentadas as discrepâncias obtidas para os desníveis.

FIGURA 25- DISCREPÂNCIAS ENTRE DESNÍVEIS OBTIDOS POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E POSICIONAMENTO RTK MEDIANTE O EMPREGO DE 1 E DE 100 OBSERVAÇÕES RTK.



FONTE: O autor (2020).

Verifica-se que as discrepâncias obtidas com as 100 observações estão entre 1,1 cm e -1,3 cm e que com o emprego de apenas uma observação RTK estão

entre 1,3 cm e – 2,6 cm. Percebe-se que os melhores resultados foram obtidos quando utilizada a média de 100 observações no cálculo dos desníveis. Dos 25 desníveis testados constatou-se que 16 deles apresentaram melhores resultados, sendo que a discrepância máxima, em módulo, foi inferior a 1,3 cm. Na tabela 5 são indicadas as estatísticas calculadas para ambos os conjuntos de dados testados.

TABELA 5- ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA OS CONJUNTOS DE DADOS

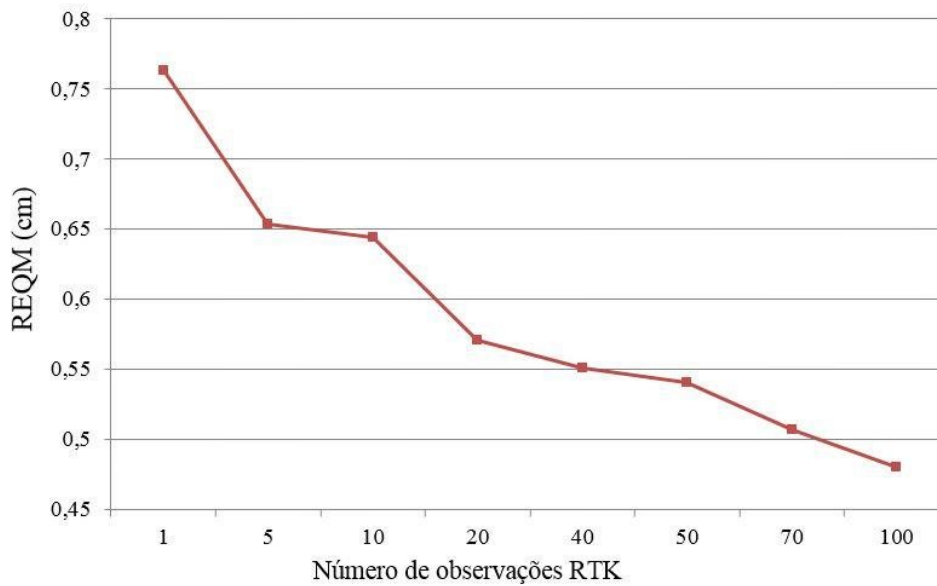
	Discrepâncias (1obs RTK) cm	Discrepâncias (100 obs RTK) cm
Média	0,004	-0,030
Desvio Padrão	0,779	0,489
Máximo	1,324	1,12
Mínimo	-2,56	-1,26
Amplitude	3,88	2,38

FONTE: O autor (2020).

Analisando-se os valores indicados na Tabela 5 percebe-se que a média para as discrepâncias com 1 observação RTK são inferiores (0,004 cm) aquelas obtidas com as discrepâncias que empregaram 100 observações RTK (-0,030 cm). Contudo o desvio padrão para cada uma das discrepâncias apresentam comportamento opostos as médias, ou seja, igual a 0,779 cm para 1 observação e igual a 0,489 cm para 100 observações. Indicando que as discrepâncias com as 100 observações RTK apresentam um conjunto de dados melhor estatisticamente. Verificando-se ainda que a amplitude de variação é menor do que aquela obtida para o conjunto de dados que contém apenas uma observação.

Optou-se ainda por verificar a Raiz do Erro quadrático médio (REQM) dos desníveis obtidos a partir de diferentes números de observações RTK, resultados estes que são apresentados na Figura 26.

FIGURA 26- RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO (REQM) DE DESNÍVEIS CALCULADOS A PARTIR DE DIFERENTES NÚMEROS DE OBSERVAÇÕES RTK.

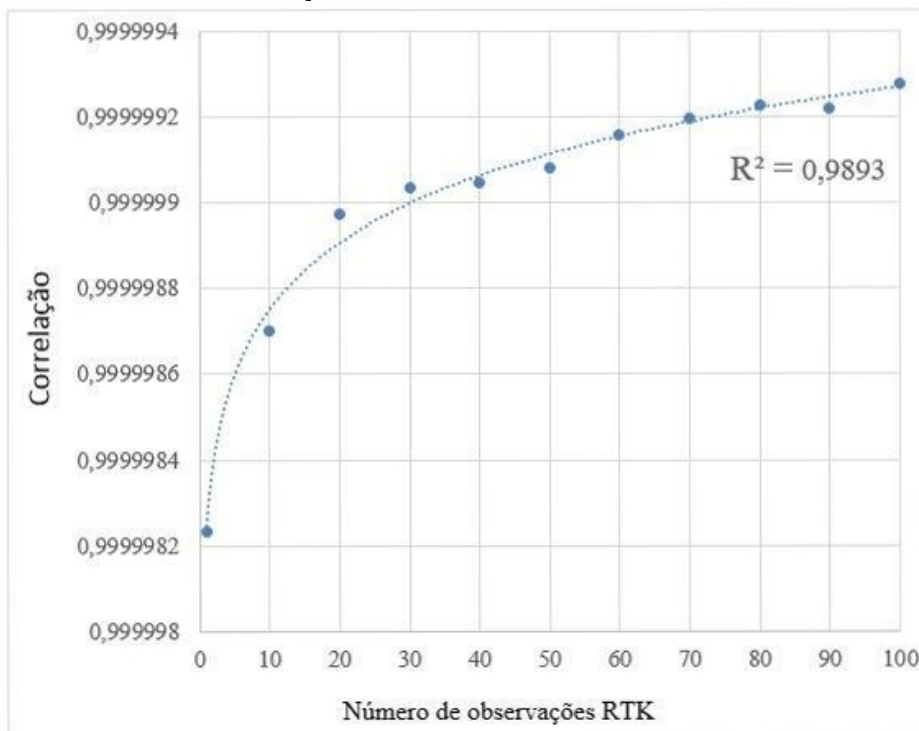


FONTE: O autor (2020).

Na Figura 26 constata-se que o REQM tende a diminuir à medida que se utiliza um maior número de observações RTK no cálculo dos desníveis. Quando apenas 1 observação é empregada o REQM dos desníveis é de 0,76 cm, ao utilizar 5 observações reduziu para 0,65 cm, correspondendo a uma diminuição de 14,4 %. Procedendo-se com a mesma linha de raciocínio percebe-se que há uma redução do REQM de 1,55% (5 para 10 observações), de 11,3% (10 para 20 observações), de 3,6% (20 para 40 observações), de 1,8 % (40 para 50 observações), de 6,3% (50 para 70 observações) e de 5,2% (70 para 100 observações), Pode-se ainda avaliar que com 40 observações a redução do REQM foi de 37% e que com a observação das 60 observações restantes foi de 17%. Logo, 40 observações proporcionam um ganho na qualidade do REQM significativo ao se considerar apenas 1 observação. De maneira geral, observa-se que um maior número de observações RTK realizadas sobre o mesmo ponto favorece a determinação da altitude elipsoidal com maior confiabilidade, refletindo na determinação dos desníveis com maior acurácia.

Com o objetivo de avaliar a semelhança do método de posicionamento RTK com o Nivelamento Geométrico no que tange a determinação dos desníveis na área de estudo, foi efetuado o cálculo da correlação entre as técnicas. Os resultados são apresentados na Figura 27.

FIGURA 27- CORRELAÇÃO ENTRE DESNÍVEIS OBTIDOS POR NG E RTK.



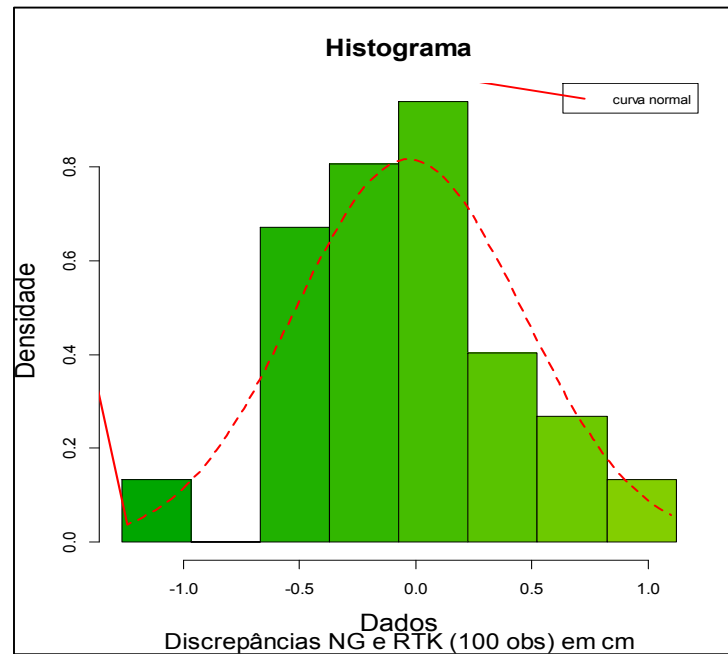
FONTE: O autor (2020).

É possível observar que a correlação entre as observações é alta, mesmo quando utilizada apenas 1 observação RTK. Verifica-se que à medida que se aumenta o número de observações RTK utilizadas no cálculo dos desníveis, as duas técnicas tornam-se melhores correlacionadas. Fato que pode ser constatado verificando-se a linha de tendência, com ajuste aos dados R^2 de 0,9893, a qual demonstra este comportamento crescente da correlação.

5.2.1.1 Testes estatísticos visando verificar se os desníveis obtidos pelo NG e RTK diferem significativamente

Foram calculadas as discrepâncias entre os desníveis obtidos pelo RTK (utilizando a média de 100 observações) e o Nivelamento Geométrico tomado como referência. Inicialmente as discrepâncias foram observadas no que tange a sua distribuição, dessa forma foi gerado o Histograma apresentado na Figura 28.

FIGURA 28- HISTOGRAMA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE RTK E NG.



FONTE: O autor (2020).

Observa-se que os dados apresentam distribuição que aparentemente é normal (Figura 28). Para confirmar essa suposição realizou-se o teste de Shapiro-Wilk o qual corroborou, indicando que a distribuição é normal. Essa etapa faz-se necessária para escolha do teste estatístico que será aplicado, caso os dados tenham distribuição normal se utiliza um teste paramétrico e em dados não normais teste não paramétrico.

Tendo em vista que os dados apresentaram distribuição normal, foi utilizado o teste t de Student para avaliar se os dados coletados a partir das suas técnicas são significativamente iguais ou diferentes. Os resultados do teste são apresentados na tabela abaixo:

TABELA 6- RESULTADOS TESTE t DE STUDENT NA COMPARAÇÃO ENTRE NG E RTK

Teste t de Student IC=95%		
t calculado	- 0,3071	Resultado: t calc < t tab, Logo se aceita H0. Dados não diferem ao nível de significância proposto.
t tabelado	2,064	
Tamanho amostra	25	
Hipótese Nula (H0)	Dados não diferem $\mu = 0$	

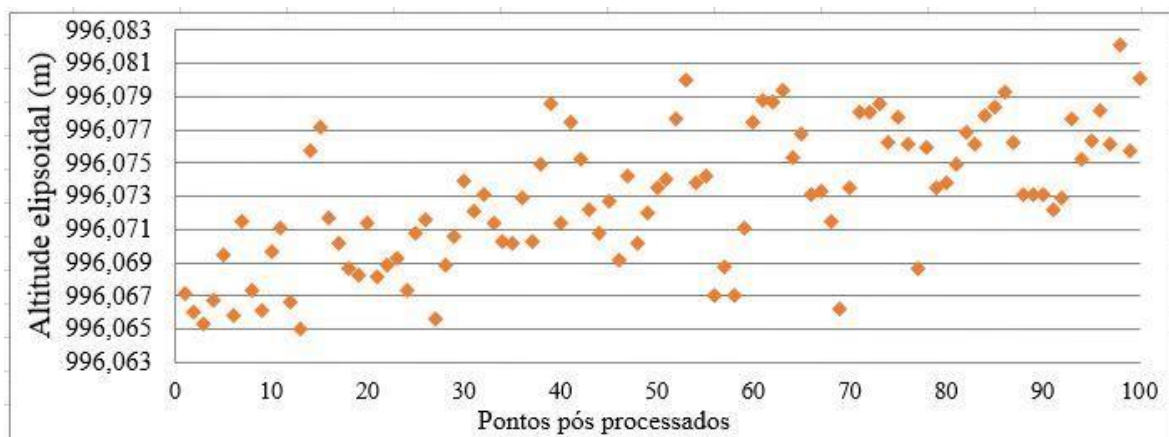
FONTE: O autor (2020).

Como apresentado na Tabela 6, o teste estatístico t de Student demonstrou que os dados obtidos pelo RTK (média de 100 observações) e pelo nivelamento geométrico não diferem ao nível de significância de 5%. Dessa forma, para a área de estudo testada pode-se empregar o posicionamento RTK como alternativa ao NG para determinação de desníveis.

5.2.2 Análise dos desníveis obtidos por meio do Posicionamento Relativo Cinemático

Os dados brutos coletados em campo durante o levantamento RTK foram pós-processados empregando-se o software Leica Infinity, conforme indicado no item 4.2.2.2. As altitudes obtidas, assim como, aquelas obtidas com o RTK, apresentaram variação durante as 100 observações para um mesmo ponto. Na Figura 29 tem-se as altitudes elipsoidais para as 100 observações efetuadas sobre o ponto M1 obtidas pelo PRC com as onda portadoras L1 e L2.

FIGURA 29- ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS POR MEIO DO PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS EMPREGANDO AS ONDAS PORTADORAS L1 E L2.

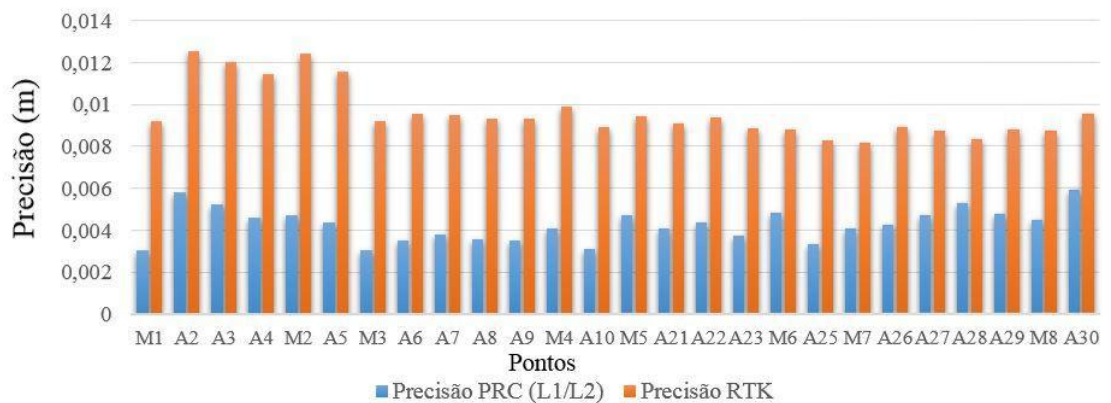


FONTE: O autor (2020).

Verifica-se na Figura 29 que a variação para a altitude elipsoidal do ponto M1 está entre 996,065 m e 996,082 m, com amplitude de variação de 1,7 cm e desvio padrão de 0,0040 m. Relembra-se que a amplitude de variação para este mesmo ponto empregando o RTK foi de 3,3 cm com desvio padrão de 0,0066 m (item 5.2.1).

Conforme efetuado no item 5.2.1 calculou-se a média das 100 altitudes elipsoidais obtidas em cada ponto visando calcular os desníveis. As precisões obtidas durante o processamento foram analisadas, calculando-se a precisão média para cada ponto. Estas precisões, por sua vez, foram comparadas aquelas obtidas durante o levantamento RTK e são apresentadas na Figura 30.

FIGURA 30- COMPARAÇÃO DAS PRECISÕES OBTIDAS POR MEIO DO POSICIONAMENTO RTK E PRC (L1/L2).

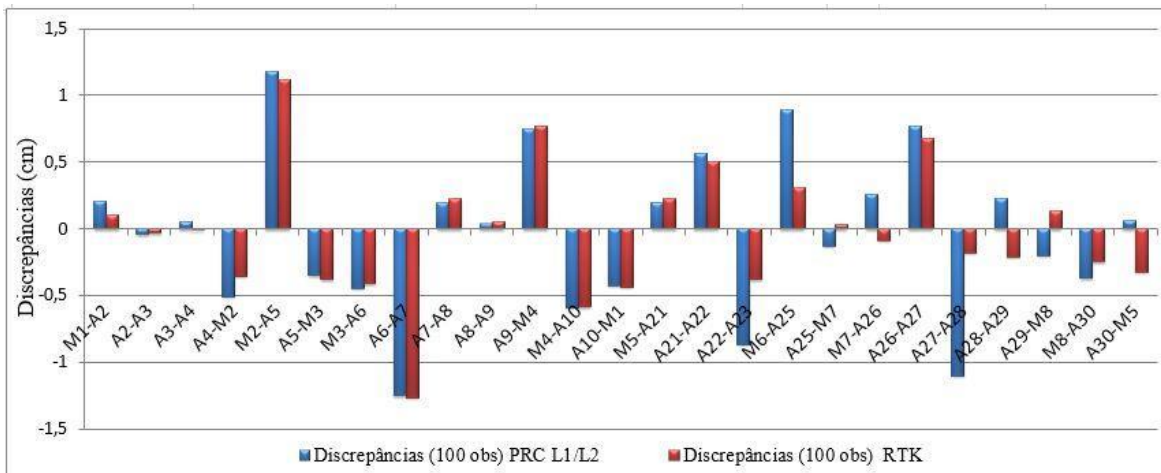


FONTE: O autor (2020).

Percebe-se que os valores das precisões na componente altimétrica foram menores para o PRC (L1/L2) do que aqueles obtidos com o RTK (Figura 30). No primeiro caso os valores estão entre 0,003 m a 0,0059 m e no segundo caso estão entre 0,008 m a 0,012 m. Pode-se dizer que a precisão média obtida para cada ponto observado está dentro do esperado para os métodos empregados de acordo com as especificações técnicas do equipamento (20mm + 1ppm, vertical) indicadas na Figura 17.

Os desníveis foram calculados a partir das altitudes elipsoidais e comparados àqueles obtidos por meio do NG. Na Figura 31 é apresentada uma comparação entre as discrepâncias dos desníveis obtidos pelo PR e RTK.

FIGURA 31- COMPARAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DOS DESNÍVEIS OBTIDOS POR RTK E PRC L1/L2.



FONTE: O autor (2020).

Observa-se que as discrepâncias concentraram-se entre os valores de -1,26 cm e 1,18 cm. Percebe-se que entre os métodos as discrepâncias foram semelhantes (Figura 31) não apresentando um comportamento em que se possa determinar qual apresentou os melhores resultados. Dessa forma, são apresentadas as estatísticas para ambos os conjuntos de dados na Tabela 7.

TABELA 7- ESTATÍSTICAS PARA AS DISCREPÂNCIAS DOS DESNÍVEIS OBTIDOS POR POSICIONAMENTO RTK E PRC L1/L2

	Discrepâncias (100 obs Pós processado L1/L2) cm	Discrepâncias (100 obs RTK) cm
Média	-0,036	-0,030
Desvio Padrão	0,60	0,49
Máximo	1,18	1,12
Mínimo	-1,25	-1,26
Amplitude	2,43	2,38

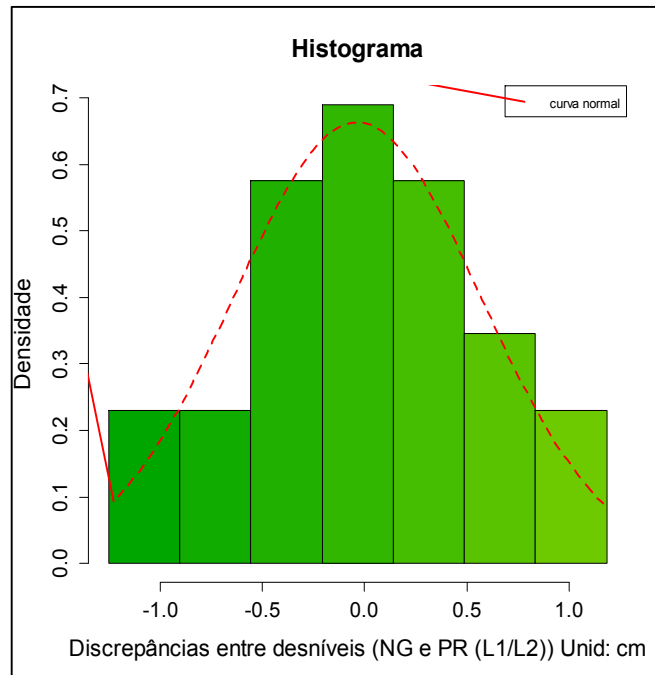
FONTE: O autor (2020).

Constata-se que a média das discrepâncias foi de -0,036 cm para os dados obtidos do pós-processamento e de -0,030 cm para os dados provenientes do RTK. O desvio padrão foi superior nas discrepâncias advindas do posicionamento relativo cinemático (0,6 cm) em relação a 0,48 cm do RTK. Dessa forma, a partir da comparação das discrepâncias apresentadas na Figura 31 e as estatísticas apresentadas na Tabela 7 verifica-se que o RTK apresentou resultados levemente melhores, não havendo melhora significativa na qualidade dos desníveis quando realizado o pós processamento dos dados.

5.2.2.1 Teste estatístico para verificar se os desníveis obtidos pelo Posicionamento Relativo e NG diferem significativamente

As discrepâncias dos desníveis foram analisadas quanto a sua distribuição. O histograma com a distribuição das discrepâncias é apresentado na Figura 32:

FIGURA 32- HISTOGRAMA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE PR E NG.



FONTE: O autor (2020).

Conforme o histograma acima, os dados apresentam uma distribuição próxima a normalidade, a qual é representada pela linha tracejada em vermelho. Da mesma forma que o efetuado no item 5.2.1.1 o teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi aplicado visando verificar se realmente os dados apresentam tal distribuição. Com esse teste afirma-se que os dados apresentam distribuição normal. Assim o teste de t de Student foi usado para verificar se os desníveis obtidos pelo nivelamento geométrico e Posicionamento Relativo são iguais ou diferentes ao nível de significância proposto. Os resultados do teste estatístico são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8- RESULTADOS TESTE t DE STUDENT NA COMPARAÇÃO ENTRE NG E PR.

Teste t de Student IC=95%		
t calculado	0,3010	
t tabelado	2,064	Resultado:
Tamanho amostra	25	T calc < T tab, Logo se aceita H0. Dados não diferem ao nível de significância proposto.
Hipótese Nula (H0)	Dados não diferem $\mu = 0$	

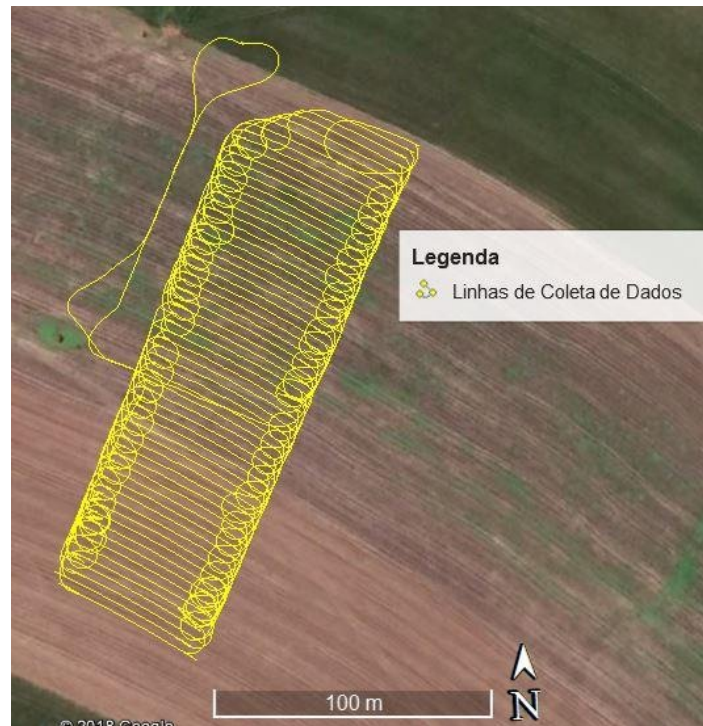
FONTE: O autor (2020).

Os desníveis obtidos por meio das altitudes (média de 100 observações) do posicionamento relativo e os desníveis referência (adquiridos por meio do nivelamento geométrico) não diferem ao nível de significância de 5% de acordo com o teste t de Student (Tabela 8).

5.3 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO REALIZADO DURANTE A SEMEADURA

Conforme descrito no item 4.2.2.1 o levantamento cinemático foi realizado durante a semeadura da cultura do milho, com um espaçamento de 3,2 m entre as linhas de coleta de dados, já que o equipamento dispõe de 4 linhas de semeadura espaçadas de 0,8 m. A Figura 33 mostra as linhas de coleta de dados efetuadas durante este procedimento.

FIGURA 33- LINHAS DE COLETA DE DADOS DURANTE A OPERAÇÃO DE SEMEADURA.

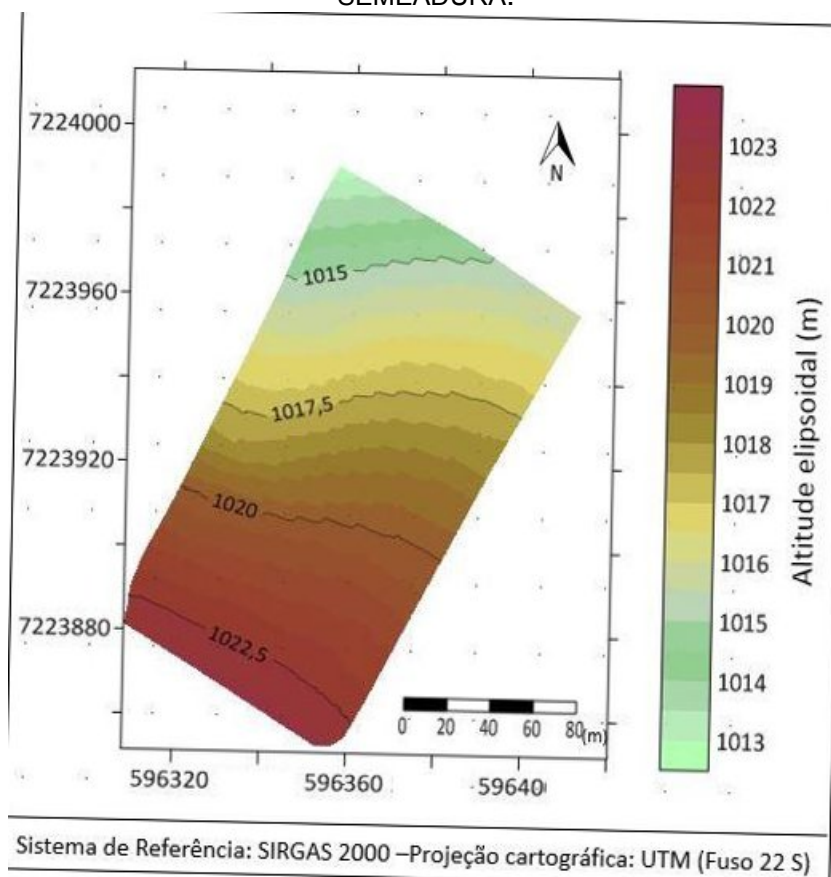


FONTE: Adaptado de Google Earth Pro (2019).

5.3.1 Análise do MDT gerado a partir de dados coletados pelo método de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) durante a semeadura

No método de posicionamento RTK as coordenadas são obtidas em tempo real durante o levantamento e não necessitam de nenhum processamento após o levantamento. Verificou-se que 98% dos pontos coletados apresentaram solução dos inteiros das ambiguidades (RTK solução fixa) e que os 2% restantes de dados foram obtidos com solução pelo código. (RTK solução Code). Estes últimos não foram utilizados na geração do MDT. Durante a operação em campo já é possível verificar a precisão fornecida pelo equipamento. Nesse levantamento a precisão planialtimétrica dos pontos cuja solução foi RTK fixo ficou entre 0,79 cm e 4,6 cm com média de 1,36 cm. A Figura 34 apresenta o MDT gerado a partir dos dados coletados no campo pelo posicionamento RTK.

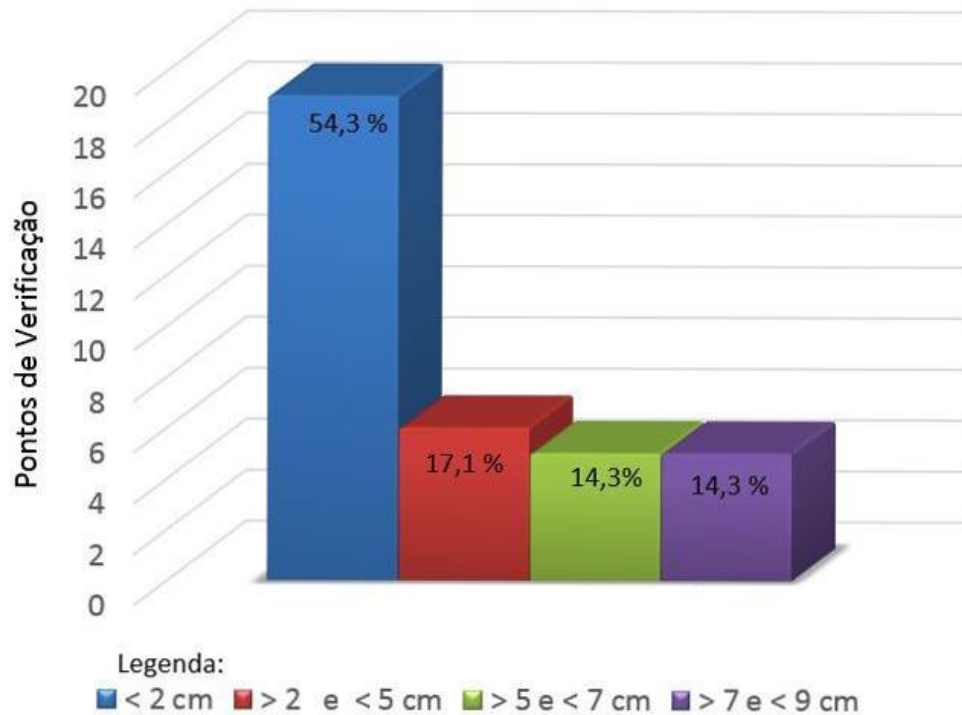
FIGURA 34 - MDT GERADO A PARTIR DOS DADOS RTK COLETADOS DURANTE A SEMEADURA.



Fonte: O autor (2020).

Este MDT foi avaliado no que tange a sua acurácia, para isso realizou-se a subtração das altitudes provenientes do MDT (Figura 34) em relação às altitudes obtidas nos pontos de verificação.

FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE O MDT (RTK) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.



Fonte: O autor (2021).

Conforme se visualiza na Figura 35 o MDT apresentou acurácia melhor que 2 centímetros em 54,3% dos pontos de verificação testados. Tem-se ainda discrepâncias entre 2 e 5 cm para 17,1 % dos pontos e discrepâncias entre 5 e 7 cm para 14,3 %, valor este que se repete para discrepâncias entre 7 e 9 cm. Esta acurácia para a totalidade dos pontos testados foi melhor que 9 cm, pode-se ainda afirmar que em apenas 28,6% as discrepâncias ficaram acima de 5 cm e em apenas 14,3% as discrepâncias foram superiores a 7 cm.

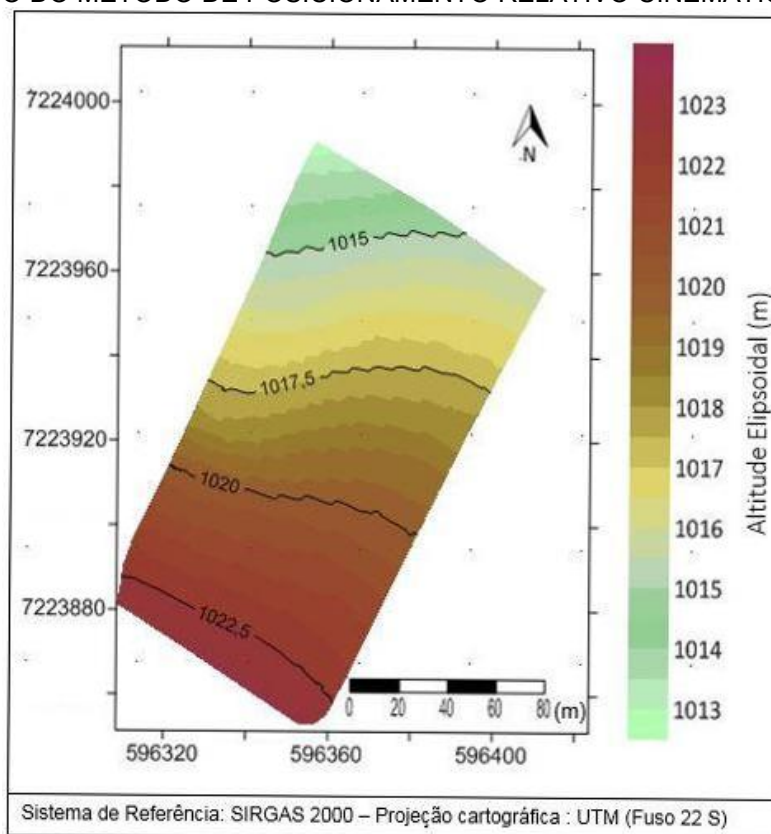
A partir das discrepâncias calculadas realizou-se o cálculo da raiz do erro quadrático médio (REQM) para o modelo gerado, sendo obtido um valor de 4,48 centímetros.

5.3.2 Análise do MDT gerado a partir de dados coletados pelo método de posicionamento relativo com pós-processamento dos dados empregando as ondas portadoras L1 e L2

No pós-processamento dos dados empregando as ondas portadoras L1 e L2 obteve-se 100% dos pontos com solução fase fixa, sendo que as precisões planialtimétricas internas do processamento ficaram entre 0,22 cm e 2,82 cm,

apresentando média de 0,79 cm. A partir dos dados pós-processados foi realizada a geração do MDT que é apresentado na Figura 36.

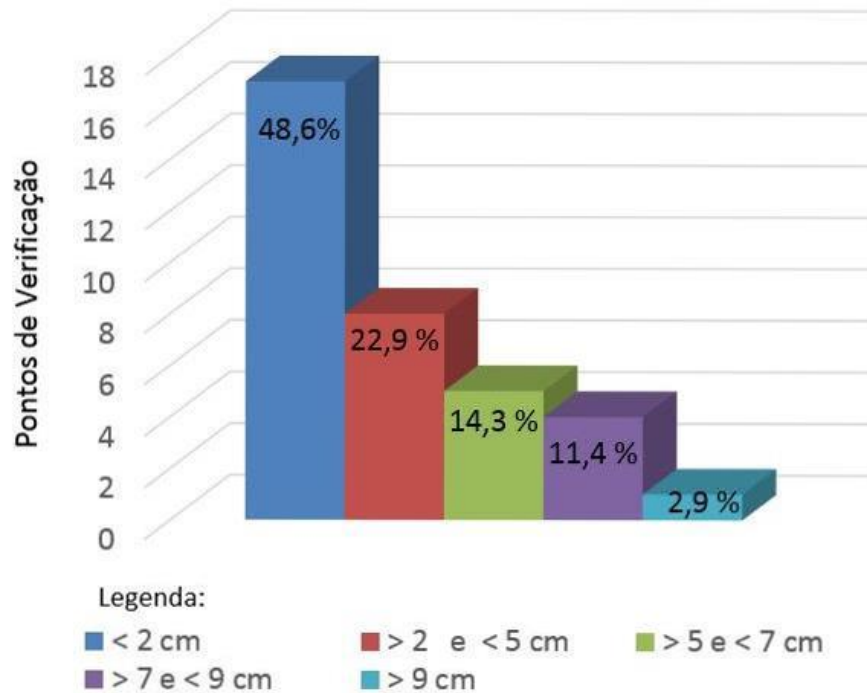
FIGURA 36 - MDT GERADO A PARTIR DE DADOS PÓS PROCESSADOS (L1/L2) COLETADOS POR MEIO DO MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO



Fonte: O autor (2020).

O MDT teve sua acurácia altimétrica avaliada comparando-o aos pontos de verificação, cujos valores de altitudes foram adotados como valores de referência. Na Figura 37 pode-se visualizar as discrepâncias encontradas com a subtração das altitudes provenientes do MDT (Figura 36) em relação às altitudes obtidas nos pontos de verificação.

FIGURA 37 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE O MDT (L1L2) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO



Fonte: O autor (2021).

Seguindo uma análise similar àquela efetuada no item 5.3.1, verifica-se que a acurácia do modelo foi melhor que 2 cm em 48,6 % dos pontos de verificação, em 22,9% ficou entre 2 e 5 cm, em 14,3 % ficou entre 5 e 7 cm, em 11,4% ficou entre 7 e 9 cm e em 2,9 % as discrepâncias foram superiores a 9 cm. Neste caso o máximo valor detectado foi de 10,08 cm. Pode-se ainda afirmar que também em 28,6% as discrepâncias ficaram acima de 5 cm.

A partir de tais discrepâncias procedeu-se ao cálculo do REQm, obtendo-se um valor de 4,37 centímetros, valor esse semelhante aquele obtido com dados RTK, ambos ficaram com a raiz do erro quadrático médio em torno de 4 centímetros.

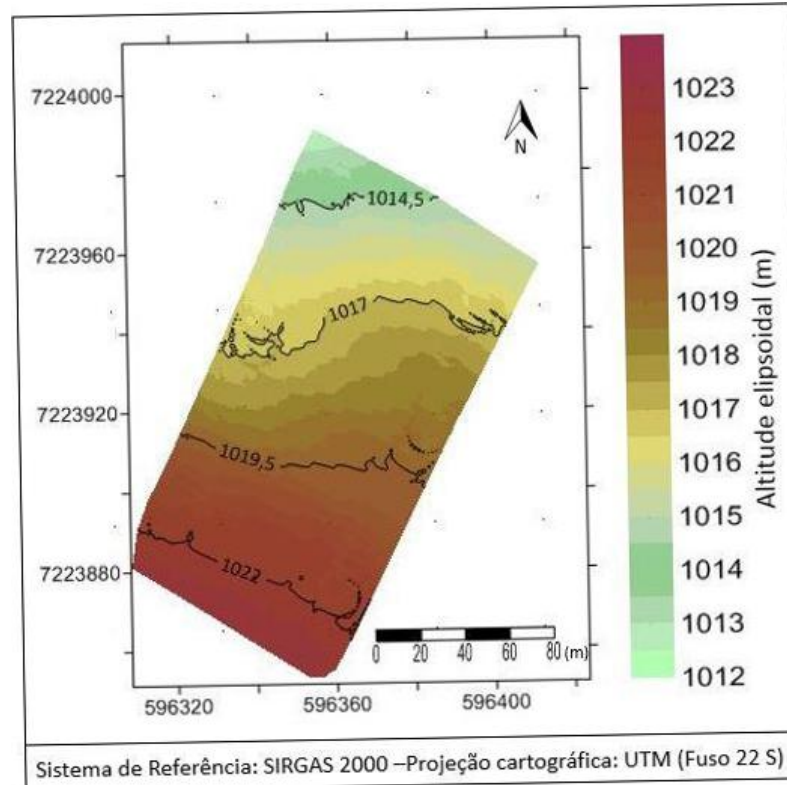
5.3.3 Análise do MDT gerado a partir de dados coletados pelo método de posicionamento relativo com pós-processamento dos dados empregando somente a onda portadora L1

Conforme exposto no item 4.2.2 os dados coletados foram pós-processados empregando-se apenas a onda portadora L1, possibilitando avaliar a acurácia passível de ser alcançada quando utilizados receptores de apenas uma frequência (monofrequência) no posicionamento de uma máquina agrícola na propriedade. É

importante ressaltar que após o início do rastreamento foi realizada a inicialização, permanecendo cerca de 30 minutos com o trator parado. Contudo durante o processamento não houve solução das ambiguidades da onda portadora L1 e a solução obtida foi apenas com o código, sendo que as precisões planialtimétricas internas do processamento ficaram entre 7,16 cm e 56,91 cm com média de 28,19 cm.

Na Figura 38 pode-se visualizar o MDT gerado a partir dos dados pós-processados empregando somente a onda portadora L1.

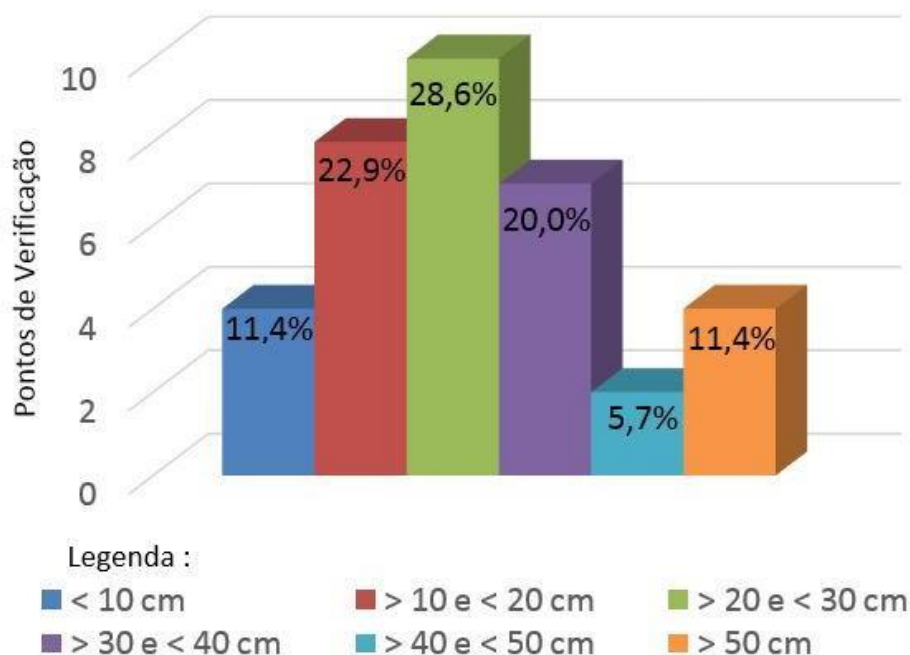
FIGURA 38 - MDT GERADO A PARTIR DE DADOS PÓS-PROCESSADOS (L1) COLETADOS POR MEIO DO MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO.



Fonte: O autor (2020).

De forma visual na Figura 38 observa-se que o modelo gerado somente com a onda portadora L1 apresentou diferenças em relação aos modelos gerados a partir dos dados obtidos com o levantamento RTK e com as soluções obtidas com as duas ondas portadoras L1 e L2. O modelo digital do terreno gerado foi avaliado quanto a sua acurácia, da mesma forma que foi efetuado nos itens anteriores. A Figura 39 apresenta a distribuição percentual das discrepâncias entre o MDT e os pontos de verificação.

FIGURA 39 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE MDT (L1) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.



Fonte: O autor (2021).

A diferença entre o MDT e os Pontos de verificação foi inferior a 10 centímetros para 11,4% dos dados avaliados. Em 22,9% esta diferença ficou entre 10 e 20 cm e em 28,6% ficou entre 20 e 30 cm. Diferenças entre 30 e 40 cm, 40 e 50 cm, e maior que 50 cm foram observadas em 20%, 5,7% e 11,4% dos dados, respectivamente. Sendo que a discrepância máxima encontrada foi de 54,5 cm. Como efetuado anteriormente, neste caso foi verificado que as discrepâncias ficaram acima de 5 cm para 100% dos dados. Dessa forma observa-se então que as discrepâncias obtidas foram superiores quando comparadas aquelas obtidas com as análises efetuadas para os outros modelos (itens 5.3.1 e 5.3.2).

A partir de tais discrepâncias procedeu-se o cálculo da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) do modelo apresentado na Figura 39, e foi obtido um valor de 30,2 cm. Nesse sentido observa-se que a acurácia do MDT foi bastante comprometida quando utilizada as soluções geradas pelo processamento dos dados apenas com a onda portadora L1, principalmente pelo fato de não ter fixado a fase. Como apresentado no item 5.3.2 o MDT que foi obtido usando ambas as ondas portadoras, obteve um REQM de 4,37 cm, sendo este cerca de 6,9 vezes menor do que o obtido apenas com a onda portadora L1.

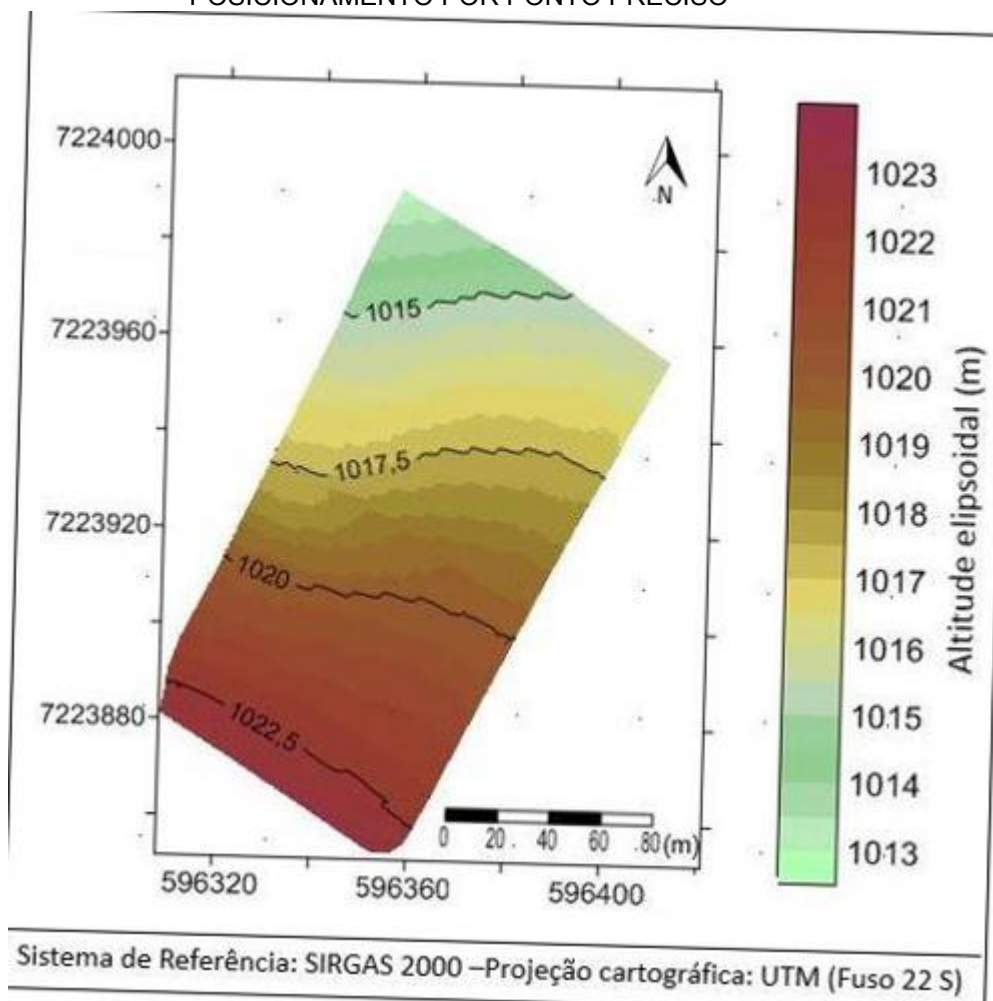
5.3.4 Análise do MDT gerado a partir das soluções obtidas pelo posicionamento por ponto preciso (PPP)

Conforme apresentado no item 3.6.1 os dados brutos coletados por receptor de dupla frequência pelo equipamento RTK foram enviados ao serviço online IBGE-PPP para pós-processamento de dados GNSS no modo de posicionamento por ponto preciso (PPP) cinemático. O conjunto de dados do receptor de dupla frequência acoplado ao trator foi composto pelo tempo de inicialização e as linhas de coleta representadas na Figura 33.

O pós-processamento dos dados pelo serviço online IBGE-PPP utilizou as observáveis código e fase da onda portadora. No caso da onda portadora a frequência utilizada foi a L3 (combinação linear entre onda portadora L1 & L2). Este método apresentou precisões planialtimétricas internas do processamento entre 0,07 m e 1,93 m com média de 0,10 m, referentes apenas aos pontos utilizados na geração do MDT sem levar em consideração as soluções geradas durante a inicialização, onde o trator estava parado. Essas precisões citadas são referentes aos pontos utilizados na geração do MDT e não incluem o período inicial de rastreamento (inicialização) em que se realizou a inicialização.

A partir dos dados pós-processados foi realizado a geração do MDT que é apresentado na Figura 40.

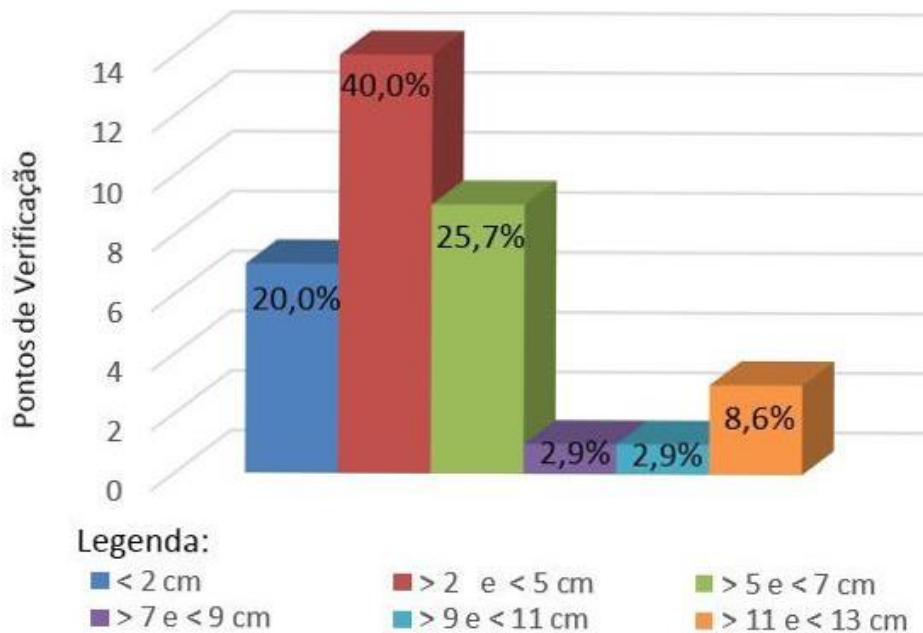
FIGURA 40 - MDT GERADO A PARTIR DOS DADOS PÓS PROCESSADOS PELO POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO



Fonte: O autor (2020).

Da mesma forma que as análises efetuadas anteriormente o MDT obtido pelas soluções PPP (Figura 40) foi avaliado quanto a sua acurácia. As altitudes desse modelo foram subtraídas em relação às altitudes obtidas nos pontos de verificação obtidos na área. As discrepâncias encontradas foram avaliadas percentualmente em classes de resultados (Figura 41).

FIGURA 41 - DISTRIBUIÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE MDT (PPP) E OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.



Fonte: O autor (2021).

Neste caso do MDT (PPP) as discrepâncias com acurácia melhor que 2 centímetros foram obtidas em 20% dos pontos de verificação, em 40% das soluções analisadas as discrepâncias ficaram entre 2 e 5 cm, em 25,7 % as discrepâncias ficaram entre 5 e 7 cm, em 2,9% entre 7 e 9 cm, em 2,9% entre 9 e 11 cm e em 8,6% entre 11 e 13 cm. Observa-se ainda, que na maior parte do modelo (60%) as discrepâncias foram inferiores a 5 centímetros e em apenas 8,6% as discrepâncias ficaram acima de 11 cm. Sendo que a discrepância máxima encontrada foi de 12,7 cm.

A partir das discrepâncias calculadas a raiz do erro quadrático médio (REQM) para o MDT foi obtido, sendo constatado um valor de 5,69 centímetros.

Cabe ressaltar que este MDT (PPP) analisado contou no processamento com dados adquiridos no tempo de inicialização, o que contribuiu com a qualidade das soluções, e corrobora com exposto por autores como Nakao e Krueger (2017).

5.3.5 Avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Modelos Digitais do Terreno gerados

Os MDT gerados a partir de diferentes métodos de posicionamento, cuja coleta foi realizada durante a operação agrícola de semeadura foram analisados quanto a sua qualidade altimétrica. Nesse sentido, os MDT foram classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para produtos Digitais – PEC-PCD. Esta normativa estabelece qual o Erro Padrão permitido em todas as classes (A”, “B”, “C” e “D”) e escalas 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000 e 1:250.000. Para realizar a classificação dos MDT é necessário comparar o REQM dos modelos digitais com o erro padrão tabelado. O REQM do MDT deve ser menor ou igual ao tabelado para que o produto cartográfico seja aceito para a classe e escala pretendida. A tabela 9 apresenta os valores de Erro Padrão altimétrico admissíveis para as diferentes classes e escalas de acordo com a PEC-PCD.

TABELA 9- VALORES DE EP ALTIMÉTRICOS PARA AS DIFERENTES ESCALAS E CLASSES

ESCALA CARTOGRÁFICA	CLASSES DO PEC - PCD							
	A		B		C		D	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
1 : 1000	0,27	0,17	0,50	0,33	0,60	0,40	0,75	0,50
1 : 2.000	0,27	0,17	0,50	0,33	0,60	0,40	0,75	0,50
1 : 5.000	0,50	0,34	1,00	0,66	1,20	0,80	1,50	1,00
1 : 10.000	1,35	0,84	2,50	1,67	3,00	2,00	3,75	2,50
1 : 25.000	2,70	1,67	5,00	3,33	6,00	4,00	7,50	5,00
1 : 50.000	5,50	3,33	10,00	6,66	12,00	8,00	15,00	10,00
1 : 100.000	13,70	8,33	25,00	16,66	30,00	20,00	37,50	25,00
1 : 250.000	27,00	16,67	50,00	33,33	60,00	40,00	75,00	50,00

FONTE: O autor (2020).

A partir dos valores apresentados na tabela 9 procedeu-se a classificação dos diferentes MDT gerados e apresentados anteriormente. A tabela 10 apresenta o REQM de cada um dos modelos digitais gerados nesta pesquisa.

TABELA 10-RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO DAS ALTITUDES PROVENIENTES DOS MDT GERADOS

Modelos Digitais do Terreno	REQM (m)
Modelo Digital do Terreno (RTK)	0,0448
Modelo Digital do Terreno (L1/L2)	0,0437
Modelo Digital do Terreno (L1)	0,3017
Modelo Digital do Terreno (PPP)	0,0569

FONTE: O autor (2020).

É possível observar que os MDT gerados a partir do posicionamento RTK, do posicionamento relativo (L1/L2) e do posicionamento por ponto preciso (PPP) apresentaram valores de REQM inferiores aquele tabelado para a escala 1:1000 e classe A. Dessa forma, estes modelos podem ser utilizados na escala 1:1000 e apresentam qualidade altimétrica correspondente a classe A. Já o MDT gerado a partir de dados do posicionamento relativo empregando somente a onda portadora L1 teve um REQM (0,3017 m) superior aos demais, podendo ser utilizado na escala 1:1000, porém em uma classe inferior devido a sua menor acurácia altimétrica, sendo classificado dessa forma, como classe B. Se houver interesse que este modelo (RPC L1) integre a classe A deve ser efetuado na escala 1:5000.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Inicialmente neste tópico serão abordadas as conclusões e considerações a respeito da Fase I, desta pesquisa, e na sequência para a Fase II. Posteriormente serão abordadas recomendações e possibilidades de trabalhos futuros.

Na Fase I realizaram-se investigações quanto à acurácia do posicionamento RTK e do posicionamento Relativo para a determinação dos desníveis na área de estudo. Mediante os resultados obtidos verificou-se que ambos os métodos de posicionamento apresentaram capacidade de determinar a diferença de nível entre os pontos no terreno com acurácia centimétrica. Os resultados obtidos com os testes estatísticos apontaram que não há diferenças significativas entre os desníveis obtidos pelos posicionamentos GNSS e NG com 95% de nível de confiança. Ainda foi possível observar que a correlação entre os desníveis obtidos pelo NG e pelo RTK é alta (próxima a 1) e cresce à medida em que um maior número de observações RTK é empregada no cálculo dos desníveis. O REQM dos desníveis foi calculado para diferentes números de observações RTK utilizadas no cálculo dos desníveis e observou-se que quando apenas 1 observação é empregada o REQM é de 0,76 cm e decresce à medida que um maior número de observações RTK são incluídas no cálculo dos desníveis, chegando ao valor de 0,47 cm quando utilizadas 100 observações RTK. Dessa forma, mediante os resultados apresentados nesta pesquisa observa-se a possibilidade de utilização destes métodos de posicionamento para obtenção de altitudes e desníveis na área de estudo. Contudo vale ressaltar que o trabalho foi desenvolvido em nível local e por esse motivo o desnível foi obtido mediante a diferença das altitudes elipsoidais entre pontos. No entanto, para trabalhos em grandes extensões de terra que demandem alta acurácia é necessário levar em consideração o não paralelismo entre as superfícies elipsoidais e do Quase-geóide e por esse motivo talvez seja necessário trabalhar-se com altitudes ortométricas, ou seja, altitudes que tenham significado físico.

Na Fase II realizaram-se investigações quanto à qualidade altimétrica de MDT gerados a partir de soluções obtidas com dados coletados empregando receptor GNSS acoplado a um trator durante a operação agrícola de semeadura. A pesquisa é proveniente da necessidade de se obter informações planialtimétricas em áreas agrícolas tendo em vista que as propriedades rurais brasileiras sofrem

com a ocorrência de erosões e a aplicação de uma metodologia de coleta de dados poderia contribuir para um melhor planejamento conservacionista dessas áreas, além de maior periodicidade de levantamentos, economia de recursos financeiros e de tempo.

O modelo digital do terreno gerado a partir do posicionamento RTK apresentou um valor de REQM de 4,48 cm podendo então ser utilizado para a escala 1:1000 e classificado como classe A pela PEC-PCD. Vale lembrar que tais resultados foram obtidos em uma área sem obstruções que podem afetar o sinal GNSS e trabalhou-se com uma linha de base extremamente curta (inferior a 1 Km). Este cenário (com a utilização do método de posicionamento RTK) representa uma porção das propriedades rurais as quais já possuem receptores RTK embarcados nas máquinas e poderiam passar a emprega-los para a coleta de informações planialtimétricas úteis ao planejamento das áreas agrícolas.

O MDT gerado a partir de dados pós-processados empregando as ondas portadoras L1 e L2 apresentou um REQM levemente inferior ao obtido pelo RTK. O REQM foi de 4,37 cm, dessa forma o MDT gerado apresenta qualidade altimétrica suficiente para ser utilizado para escalas de 1:1000 e classificado como classe A pela PEC-PCD. É importante ressaltar que foi realizada a inicialização permanecendo com o receptor rastreando, porém com o trator parado contribuindo para a resolução das ambiguidades durante o pós-processamento dos dados. Neste cenário os resultados foram semelhantes aqueles alcançados com o emprego do posicionamento RTK, dessa forma, com a realização do pós-processamento não se obteve um considerável ganho em acurácia no MDT.

Quando realizado o pós-processamento dos dados GNSS empregando somente a onda portadora L1 o MDT mostrou-se menos acurado apresentando um REQM de 30,2 cm. Tal resultado comprova-se pelo processamento onde não houve solução das ambiguidades e as precisões internas ficaram entre 7,16 cm e 56,91 cm com média de 28,19 cm. Mediante estes resultados, esse MDT pode ser empregado para escalas 1: 1000 tendo classificação altimétrica de classe B ou então utilizado na escala 1:5000 sendo classe A. Em função da acurácia obtida empregando este método de posicionamento as aplicações para a agricultura são limitadas, cabendo ao gestor avaliar qual a acurácia necessária e se este método satisfaz as necessidades do projeto. Este cenário (pós-processamento empregando somente onda portadora L1) reflete e analisa a possibilidade de utilização de

receptores GNSS monofrequência já instalados em máquinas agrícolas e ou a aquisição de receptores com menor valor de mercado para os levantamentos planialtimétricos na agricultura.

Conforme já descrito o PPP não necessita de uma estação base e nem do processamento dos dados pelo usuário sendo estas características bastante interessantes para testá-lo na coleta de dados planialtimétricos na agricultura. O MDT gerado apresentou um REQM de 5,69 centímetros, o que o classifica como Classe A e permite sua utilização na escala 1:1000. Contudo destaca-se que a área agrícola em estudo não possui obstruções ao sinal GNSS e o trator foi mantido parado por pelo menos 30 minutos (período de inicialização), com o receptor recebendo e gravando os dados GNSS, para posteriormente executar as linhas de coleta. Este tempo de gravação de dados na inicialização é de extrema importância para se obter êxito nas soluções geradas com o PPP.

A realização de pesquisas que empreguem controle de qualidade dos dados GNSS através da filtragem e eliminação de dados com baixa precisão podem ser realizadas visando avaliar se haverá um ganho na qualidade altimétrica dos MDT gerados.

Com o aumento no número de satélites e de novas constelações novos experimentos podem ser efetuados visando a análise dos desníveis e dos MDT.

Além disso, podem ser avaliados MDT gerados a partir do posicionamento por ponto preciso (PPP), empregando diferentes tempos de inicialização, visando avaliar a correlação entre o tempo, o REQM e a qualidade altimétrica dos MDT gerados.

REFERÊNCIAS

ABNT. Execução de levantamento topográfico, NBR 13133, maio de 1994. Disponível em: <https://www.academia.edu/6722820/NBR_13133_Execucao_de_Levantamento_Topografico>. Acesso em: 23 Abr. 2020.

ALBA, P. J. *et. al.* Agricultura de precisão: mapas de rendimento e de atributos de solo analisados em três dimensões. Goiânia: **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer -, v.7, n.13; 2011. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20agrarias/agricultura%20de%20precisao.pdf>> Acesso em: 10 Set. 2019

ALVES, D.B.M.; ABREU, P.A.G.; SOUZA, J.S. GNSS: status, modelagem atmosférica e métodos de posicionamento. Curitiba, **Revista Brasileira de Geomática**, v. 1, n. 1, 2-7, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5431/3374>>. Acesso em: 15 Abr. 2020.

ALVES, S. C.; KRUEGER, C. P. Investigação da Variação Volumétrica de Reservatório de Abastecimento de Água Mediante o Emprego de Diferentes Espaçamentos entre as Linhas Regulares de Sondagem. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 2, p. 365-383, 22 jun. 2020. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/53233?fbclid=IwAR2eS193h6xuTRag0UsFI62ivF_oqLWLnYP2bOHGQpjRUuWuc97y7TVLTng> Acesso em: 05 Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv72n2-53233>

BAKAR, B. A. *et. al.* Leveling-index based variable rate seeding technique for paddy. **Revista Springer US**. p. 1-8, Out. 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-019-09692-4>>. Acesso em: 25 Out. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09692-4>

BARBOSA, B.G.S. *et. al.* **O Uso Das Geotecnologias Como Ferramenta De Análise Dos Parâmetros Topográficos De Declividade E Hipsometria No Município De Petrolina- PE**. I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e o Congresso Internacional de Biodiversidade do Semiárido. 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV133_MD4_SA40_ID953_01112019203405.pdf>. Acesso em: 13 Fev. 2020.

BEIDOU NAVIGATION SATELLITE SYSTEM. System. 2021. Disponível em: <<http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>> Acesso em: 22 Abr. 2021.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: **Mapa/ACS**, 2013. 36 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de->

precisao/boletim-tecnico-agricultura-de-precisao-2013.pdf>. Acesso em: 07 Fev. 2020.

BRUS, D. J., *et al.* The performance of spatial interpolation methods and choropleth maps to estimate properties at points: A soil survey case study. 1996. **Environmetrics**, 7(1), 1–16. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/%28SICI%291099-095X%28199601%297%3A1%3C1%3A%3AAID-ENV157%3E3.0.CO%3B2-Y>> Acesso em: 10 Jan. 2021. Doi:10.1002/(sici)1099-095x(199601)7:1<1::aid-env157>3.0.co;2-y

BRUTTI, M. A. **Utilização do sistema john deere – surface water PRO e CR – campeiro 7 para obtenção de dados altimétricos para o manejo do arroz irrigado (*Oryza sativa*)**. 2014. 62 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão – Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4808/BRUTTI%2c%20MARCELINO%20ANDRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 10 Set. 2019.

BUENO, M. V. **Uso de ferramentas de geotecnologias para a simulação do manejo da água em terras baixas**. 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/3983/1/Dissertacao_Marcos_Bueno.pdf?fbclid=IwAR3ABjzbxB4mkRI-uoGBPaUhfTTgNZb6ldS-sN6KYmhxlpWlbEmMPtajKwM> Acesso em: 20 Abr. 2021.

CHINA SATELLITE NAVIGATION OFFICE. Development of the BeiDou Navigation Satellite System (Version 4.0). 2019. Disponível em: <<http://www.beidou.gov.cn/xt/gfxz/201912/P020191227430565455478.pdf>> Acesso em: 22 Abr. 2021.

CREMONINI, L.C.M.; MOLIN, J.P. **Acurácia de mapas altimétricos obtidos por monitores de produtividade**. In: 2º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 12 a 14, 2002, Viçosa – MG. Disponível em: <<http://www.ler.esalq.usp.br/download/TEC%202002.14.PDF>>. Acesso em: 18 Abr. 2019.

CORREA, N.F. *et. al.* Obtenção de MDE Corrigido para Delimitação de Bacia Hidrográfica com Auxílio de Geotecnologias Livres. Rio de Janeiro: **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, Vol. 40, p. 217-225 1/ 2017. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/11417/10866>>. Acesso em: 13 Fev. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_217_225

DALBELO, L. F.A.; RODRIGUES, W.S. Trimble RTX: posicionamento preciso em tempo real sem o uso de uma base convencional. **Santiago e Cintra Geotecnologias**, [S.l.], [200-]. Disponível em:<https://www.santiagoecintra.com.br/adm/uploads/downloads/artigo-rtx-a-mira_10.pdf>. Acesso em: 10 Fev. 2020.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema laserscanning: conceitos e princípios de funcionamento**. Curitiba: UFPR, 2003.

DECLERCQ, F. A. N. Interpolation Methods for Scattered Sample Data: Accuracy, Spatial Patterns, Processing Time. 1996. **Cartography and Geographic Information Systems**, 23(3), 128–144. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304096782438882>> Acesso em: 06 Jan. 2021. Doi:10.1559/152304096782438882

DIAS, C. **Estudo revela que 30% dos solos do mundo estão degradados**. EMBRAPA, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>. Acesso em: 18 mai. 2020.

EUROPEAN GSA. European GNSS Service Centre. European Global Navigation Satellite Systems Agency. 2021. Disponível em: <<https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>>. Acesso em: 11 Jan. 2021.

EUROPEAN GSA. European GNSS Service Centre. What is SBAS? 2020. Disponível em <<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss/what-sbas>>. Acesso em: 22 Abr. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Fact Sheet – Wide Area Augmentation System (WAAS). 2013. Disponível em: <https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=14974&omniRss=fact_sheetsAoc&cid=103_F_S>. Acesso em: 22 Abr. 2021.

FERNANDES, V.J.M. *et.al.* FILTRAGEM DE NUVEM LASER PARA GERAÇÃO DE MDT POR KRIGAGEM. Curitiba, **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, no1, p.196-212, 2017. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3939/393950135013.pdf>>. Acesso em: 12 Fev. 2020.

FILHO, J. L.; IOCHPE, C. Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados. 1996. Apostila Online. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/sig-bd-jai.pdf>> Acesso em: 07 Nov. 2019.

GLOBO.COM. Erosão do solo pode reduzir rendimento de plantações pela metade, diz ONU. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/05/15/erosao-do-solo-pode-reduzir-rendimento-de-plantacoes-pela-metade-diz-onu.ghtml>> Acesso em: 20 Abr. 2021.

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. Geodésia celeste. Curitiba: UFPR, 2015.

GPS.GOV. Space Segment. Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. 2021. Disponível em: <<https://www.gps.gov/systems/gps/space/#generations>>. Acesso em: 11 Jan. 2021.

HOFMANN- WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS- Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more**. Springer, Áustria, 2008.

HUINCA, S. C. M. **Análise de influências ambientais na calibração de antenas de receptores GPS**. 2014 215f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36856/R%20-%20T%20-%20SUELEN%20CRISTINA%20MOVIO%20HUINCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 10 Set. 2019.

HUNG, M.N.W.B. *et.al.* LEVANTAMENTO COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO EM BACIA EXPERIMENTAL COM VEGETAÇÃO FLORESTAL ESPARSA. Curitiba, v.43 **Temático de Geotecnologias**, p. 215-231, Fev/2018. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/56621/34906>>. Acesso em: 12 Fev. 2020.

IAC. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing. Glonass constellation status. Korolyov, Rússia, 2019. Disponível em: <glonass-iac.ru/en/GLONASS/>. Acesso em: 11 Jan. 2021.

IBGE. IBGE-PPP: Serviço on-line para Pós – Processamento de dados GNSS. Rio de Janeiro. Versão maio 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>> Acesso em: 15 Dez. 2020.

IBGE. Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP Versão: abril 2017. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:gXd-uzliXl0J:https://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br> Acesso em: 15 Set. 2019.

IBGE. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP. 2019. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 13 Set. 2019.

IBGE. Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos-GPS. 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf>. Acesso em: 10 Set. 2019.

JENDRZIKOWSKI, R.D.; **Técnicas de Agricultura de Precisão na obtenção de dados altimétricos para planejamento conservacionista da água e do solo**. 2018. 52 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/13407/DIS_PPGAP_2018_JENDRZIKOWSKI_ROPSON.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 Abr. 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente - Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Editora Parêntese, 2011.

JOHN DEERE. Manual Técnico Trator 7515: Reparação. John Deere do Brasil, 2006. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/389453116/Manual-Tecnico-e-Reparacao-Do-7515>>. Acesso em: 30 Set. 2019.

JOHNSTON *et. al.* **Using ArcGis geostatistical analyst**. United States of America. 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/200043204_Using_ArcGIS_geostatistical_analyst> Acesso em: 08 Nov. 2019.

JUAREZ, V.B.Z. ANÁLISE QUALI - QUANTITATIVA DO MODELO DIGITAL DO TERRENO – MDT OBTIDO POR LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL E IMAGEM DIGITAL. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso Superior de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13113/1/DV_COENF_2018_1_11.pdf>. Acesso em: 13 de Fev. 2020.

JUNIOR, J. F.; KRUEGER, C. P. Posicionamento RTK empregando diferentes estações de referência. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, v. 59, n. 2, p. 11, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44899>>. Acesso em: 08 Nov. 2019

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. 1996. 288 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44184/T%20-%20CLAUDIA%20PEREIRA%20KRUEGER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 07 Nov. 2019.

KRUEGER, C. P. et al. Posicionamento GNSS em Tempo Real: Evolução, Aplicações Práticas e Perspectivas para o Futuro. 2020. **Revista Brasileira de Cartografia**. Monte Carmelo - MG. vol. 72, p. 1359-1379, n. Especial 50 anos, 2020. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56620>> Acesso em: 11 Jan. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56620>

KOMAZAKI, J.M. *et. al.* **Avaliação Da Qualidade Geométrica De Modelos Digitais Do Terreno Obtidos A Partir De Imagens Adquiridas Com VANT**. Comissão IV – Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens, 2017 Disponível em: < http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/179/CT04-47_1506788616.pdf>. Acesso em: 12 Fev. 2020.

LANGLEY, R. B. Dilution of Precision. GPS World. P. 52 à 59, May 1999. Disponível em <<http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gpsworld.may99.pdf>> Acessado em 09 Dez. 2020.

LANGLEY, R. B. RTK GPS. GPS World. p. 70 à 79, September 1998. Disponível em: < <http://www2.unb.ca/gge/Resources/gpsworld.september98.pdf>> Acesso em: 07 Nov. 2019.

LEICA GEOSYSTEMS. Leica GPS900CS: o GPS Leica feito para o mercado Brasileiro. 2019 Disponível em: <http://paranageo.com.br/wp-content/uploads/2014/07/760314pt_Leica_GPS900CS.pdf>. Acesso em: 09 Nov. 2019.

LEICA GEOSYSTEMS. Manual do Utilizador: Leica DNA03/DNA10. Versão 2.0 Português. 2006. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/14957018-Versao-2-0-portugues-leica-dna03-dna10-manual-do-utilizador.html>>. Acesso em: 01 Out. 2019.

LEICA GEOSYSTEMS. Sprinter 150/150M/250M – User Manual. 2008. Disponível em: <http://www.surveyteq.com/uploads/p_5D254B0F-2B80-4B96-D091-71A51576872B-1516884091.pdf>. Acesso em: 01 Out. 2019.

LICHT, M. A. et al. Corn (Zea mays L.) seeding rate optimization in Iowa, USA. **Revista Springer US**. v. 18, ed. 4, p. 452-469, Ago. 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-016-9464-7>>. Acesso em: 20 Ago. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9464-7>

LONGLEY, P.A. Ciências e Ciência da Informação Geográfica. Santana Porto Alegre: **Bookman Editora LTDA**. 3 edição, cap. 14, p. 375. 2013. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=LOKqt5V6yvMC&pg=PT383&dq=Pondera%C3%A7%C3%A3o+pelos+Inversos+da+Dist%C3%A2ncia+\(IDW\)%C2%B6&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjAgK-dtd3tAhUmIbkGHY1qDOUQ6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.br/books?id=LOKqt5V6yvMC&pg=PT383&dq=Pondera%C3%A7%C3%A3o+pelos+Inversos+da+Dist%C3%A2ncia+(IDW)%C2%B6&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjAgK-dtd3tAhUmIbkGHY1qDOUQ6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q&f=true)> Acesso em: 15 dez. 2020.

MARQUES, H. A. **Influência da Ionosfera no Posicionamento GPS: Estimativa dos Resíduos no Contexto de Duplas Diferenças e Eliminação dos Efeitos de 2ª e 3ª Ordem**. 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_marques_ha.pdf> Acesso em: 09 Dez. 2020.

MENDONÇA, R.L; PORTUGAL, J.L. Filtragem de Dados LiDAR de Área com Relevo Acidentado para Geração de Modelo Digital do Terreno. Rio de Janeiro: **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Vol. 41 - 3 / 2018 p. 568-579, 2018. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13085/12679>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

MIRANDA, G. H. B. Análise de amostragem e interpolação na geração de MDE. 2017. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de

Viçosa, Viçosa. 2017. Disponível em: <
<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/10840>> Acesso em: 18 dez. 2020.

MIRANDA, G. H. B.; et al. Análise de Qualidade de Amostragem e Interpolação na Geração de MDE. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 1, p. 226-257, 31 mar. 2018. Disponível em: <
<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/45255>> Acesso em: 18 dez. 2020.

MOLIN, J. P. et al. **Agricultura de Precisão**. 1 edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 edição. Editora Unesp, São Paulo, 2008.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. Editora Unesp, São Paulo, 2000a.

MONICO, J. F. G. Posicionamento Por Satélite: Situação Atual e Perspectivas para o Início do Terceiro Milênio. 2000b. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 15-27, 2000. Disponível em: <
<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/download/63039/36903>> Acesso em: 22 Abr. 2021.

NAKAO, L. T. H.; KRUEGER, C. P. Análise dos métodos de posicionamento e dos parâmetros definidores da qualidade de um levantamento batimétrico. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 23, n 3, p.419 - 433, Jul – Sept. 2017. Disponível em: <
<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v23n3/1982-2170-bcg-23-03-00419.pdf>>. Acesso em: 07 Nov. 2019.

NAMIKAWA, L.M. *et.al.* MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO E APLICAÇÕES. São José dos Campos: **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**. 2003. Disponível em: < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2003/03.10.11.36/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 15 Out. 2019.

NIEMANN, R.S. Comparação de métodos de filtragem e geração de modelos digitais de terreno a partir de imagens obtidas por veículo aéreo não-tripulado. 2017. 130f., Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017. Disponível em: <
<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152635>>. Acesso em: 12 Fev. 2020.

OLIVEIRA, D.R. Geração de um modelo digital do terreno a partir de imagens obtidas por um veículo aéreo não tripulado. 2016. 9 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento Ambiental) —Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <
<http://bdm.unb.br/handle/10483/22179>> Acesso em: 12 Fev. 2020.

PRADO, A.; KRUEGER, C. P. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte

Carmelo, v. 55, n. 1, p. 20, fev. 2006. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43485>>. Acesso em: 08 Nov. 2019.

PRADO, R. **Geotecnologias aplicadas ao setor agrícola**. *Jornal dia de Campo*. 2010. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?secao=Artigos%20Especiais&id=22528>>. Acesso em: 06 Abr. 2020.

RABELO, M. O.; et al. Quality of altimetric surveys in sugarcane agricultural lands performed with GNSS RTK receiver mounted on an all-terrain vehicle. **Revista Springer**, Berlin Heidelberg, v. 11, ed. 2, p. 111-119, Jun. 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12518-018-0246-y.pdf?fbclid=IwAR2E3XBtSDiSsbbDyHuglxPpZmPkR-DrQrHyYzBW00z54T3sg4wcvpfwhvl>> Acesso em: 03 Mai. 2019. <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0246-y>

RAMALHO-FILHO, A.; MOTTA, P.E.F.DA; FREITAS, P.L.DE; TEIXEIRA, W.G. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 216 p. [ISBN 978-85-85864-34-7]. Capítulo 1, Parte II, pp. 75-82. Disponível em: <https://www.academia.edu/22259585/Planejamento_conservacionista_e_procedimentos_para_a_instalacao_de_palmares_na_Amazonia> Acesso em: 25 abr. 2020.

REICHEL, H.; SAMPAIO, T.V.M. **Geração De Modelo Digital Do Terreno (MDT) A Partir Da Integração De Métodos Geoestatísticos E Dados Obtidos Com Uso De Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS)**. XII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Huriel_Reichel/publication/326697008>. Acesso em: 12 Fev. 2020.

RODRIGUEZ, E. *et.al.* A Global Assessment of the SRTM Performance. 2006. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Bethesda - Estados Unidos. Vol. 72, No. 3, March 2006, pp. 249–260. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255262465_A_global_assessment_of_SRTM_performance> Acesso em: 12 Jan. 2021. DOI: 10.14358 / PERS.72.3.249

SANTOS, E. **Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados**. EMBRAPA, 2015. Disponível em: <embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>. Acesso em: 18 mai. 2020.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin, Walter de Gruyter, 586 págs. 2003.

SETTI JÚNIOR, P. T.; ALVES, D. B. M. **Posicionamento Por Ponto Combinado GPS e GALILEO: Melhorias na Geometria dos Satélites e na Estimativa da Posição**. Presidente Prudente - SP, IV Simpósio Brasileiro de Geomática –

(SBG2017), II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica – (CTIG2017), 24-26 de julho de 2017. p. 558-562. Disponível em: <http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG/_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_2.pdf> Acesso em: 09 Dez. 2020.

SETTI JÚNIOR, P. T., et al. Posicionamento Multi-GNSS. 2020. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 72, n. Especial 50 anos, 2020. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:t-ZOhN5SEIUJ:www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/56580/30756/+&cd=14&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>> Acesso em: 22 Abr. 2021.

TOPCON. **Hiper SR: Receptor GNSS**. 2012. Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/16916/24656/Receptor%20Topcon%20Hiper%20SR.pdf>> Acesso em: 20 Nov. 2019.

TRIMBLE RTX. Opções de Serviços de Correção RTX. 2019. Disponível em: <<https://sites.google.com/trimble.com/trimblertx/>> Acesso em: 11 Jan. 2021.

VERDUM, R.; VIEIRA, C.L.; CANEPPELE, J.C.G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. 50 f. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/189684/001007309.pdf?sequence=1><https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/4924907/embrapa-apresenta-tecnicas-de-manejo-conservacionista-do-solo-na-expojuraa>> Acesso em: 30 abr. 2020.

WILLGALIS, S. et al. **A real time GPS reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys**. 2002. XXII International Congress Washington, D.C. USA, April 19-26, 2002. Disponível em: <http://www.geopp.com/pdf/FIG2002_00475_willgalis.pdf> Acesso em: 09 Nov. 2019.

WINKLER, A. S.; et al. **Locação de drenos através da análise de modelo digital de elevação em área de várzea**. 2011. INTEGRAR: VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. 2011. Disponível em: <http://www.integrarcampo.com.br/altera/congresso/_arquivos/28.pdf> Acesso em: 12 Jun. 2019.