

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SÉRGIO DA CONCEIÇÃO ALVES

INVESTIGAÇÃO DA VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIO DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA MEDIANTE O EMPREGO DE DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS ENTRE AS LINHAS REGULARES DE SONDAGEM

CURITIBA

2019

SÉRGIO DA CONCEIÇÃO ALVES

INVESTIGAÇÃO DA VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIO DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA MEDIANTE O EMPREGO DE DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS ENTRE AS LINHAS REGULARES DE SONDAAGEM

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

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

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

A474i

Alves, Sérgio da Conceição

Investigação da variação volumétrica de reservatório de abastecimento de água mediante o emprego de diferentes espaçamentos entre as linhas regulares de sondagem [recurso eletrônico] /Sérgio da Conceição Alves. – Curitiba, 2019.

Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2019.

Orientadora: Cláudia Pereira Krueger.

1. Reservatórios. 2. Abastecimento de água. 3. Ecobatímetro. I. Universidade Federal do Paraná. II. Krueger, Cláudia Pereira. III. Título.

CDD: 333.912

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



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 **SÉRGIO DA CONCEIÇÃO ALVES** intitulada: **INVESTIGAÇÃO DA VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA MEDIANTE O EMPREGO DE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS ENTRE AS LINHAS REGULARES DE SONDAÇÃO**, sob orientação da Profa. Dra. CLAUDIA PEREIRA KRUEGER, que após ter inquirido o aluno e realizado 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, 31 de Julho de 2019.



CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



REGIANE DALAZOANA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



ARTHUR AYRES NETO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)

“A teoria sem a prática vira ‘verbalismo’, assim como a prática sem teoria, vira ativismo. Não entanto, quando se une a prática com a teoria tem-se a práxis, a ação criadora e modificadora da realidade.”

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe Marluce; meu pai Antônio; minhas avós Dona Valda e Dona Maria e; minhas irmãs Sueli, Cimária e Cimone. Por me apoiarem em todos os momentos.

À secretária do CPGCG, Mônica Kleuser, que sempre esteve disposta para me ajudar quando precisei.

Aos meus companheiros e colegas do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia. Principalmente a Laís Hasuda pela ajuda em todos os levantamentos batimétricos realizados durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À empresa Sanepar por permitir o acesso aos reservatórios em emprestado o equipamento sonar para que me auxiliou no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos Professores do PPGCG pelo aprendizado e experiências compartilhadas ao longo deste período.

Principalmente a Professora Cláudia Krueger pelas orientações e contribuições para o desenvolvimento dessa pesquisa, e por ter acreditado e confiado em mim ao longo deste período.

A Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e a disponibilização de instalações e equipamentos que forem indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

À CAPES e o CNPq pelo apoio financeiro, sem este, esta pesquisa poderia não ter sido desenvolvida.

RESUMO

O levantamento batimétrico tem como objetivo a determinação e representação gráfica do relevo topográfico de áreas submersas. O detalhamento da superfície topográfica submersa é uma inferência da disposição dos dados batimétricos e da precisão de aquisição destes dentro dos limites especificados para cada equipamento ecobatimétrico. Por conseguinte, a precisão do Modelo Digital da Superfície Submersa (MDSS) está relacionada a esses preceitos e, conseqüentemente, infere na precisão volumétrica de reservação. O presente trabalho buscou investigar, em uma primeira etapa, a precisão dos dados batimétricos medidos com o ecobatímetro *South SDE 28S* em uma piscina com dimensões conhecidas. Neste experimento constatou-se a influência do efeito de borda nos dados; o surgimento de *spikes* devido a presença de objetos submersos, a identificação dos objetos no MDSS e sua posição em relação à altura da lâmina d'água e; determinou-se, também, a acurácia na determinação do volume dos MDSS do ambiente teste, que ficou 4,76% menor que o volume real da piscina, esta acurácia foi usada como parâmetro para validar os resultados obtidos na segunda fase do trabalho. Nessa fase realizou-se um levantamento batimétrico no pré-reservatório do Passaúna, localizado na região metropolitana de Curitiba-PR. Com os resultados, verificou-se que a variação volumétrica de preenchimento dos MDSS gerados com dados posicionados horizontalmente pelo método absoluto cinemático e interpolados com o *Kriging* (KRG) e o *Inverse Distance Weighted* (IDW) foi de 4,76% quando as Linhas Regulares de Sondagem (LRS) ficaram espaçadas entre 30 e 180 metros.

Palavras-Chave: MDSS. Levantamento Batimétrico. Métodos de posicionamento da embarcação. Interpolação dos dados batimétricos.

ABSTRACT

Bathymetry aims to study and represent graphically the underwater natural features. The submerged topography breakdown on these areas is directly related to the bathymetric data arrangement and the echo-sounder specifications. Therefore, the Digital Submerged Surface Model (MDSS) accuracy is related to these precepts, which also implies the computation of reservoir volume. The present work sought to investigate, in a first stage, the bathymetric data accuracy measured with a single beam echo sounder, South SDE 28S. The test was made into a swimming-pool, which its dimensions were known. In this experiment was observed the interference on the data due the transducer approaching to swimming-pool wall; was possible to identify the submerged objects on the MDSS, their depth, and the occurrence of spikes due the presence of these objects; was possible also to compute the swimming-pool volume accuracy by comparing the volume from MDSS surface and the swimming-pool real volume, which was 4.76% lower. This accuracy was used as a parameter to validate the results obtained in the second phase this research. However, the second phase, a bathymetry survey was performed at Passaúna pre-reservoir, located in Curitiba's metropolitan area. The results showed the volumetric variation from the MDSS surfaces generated with data positioned horizontally by the absolute kinematic method and interpolated with Kriging (KRG) and Inverse Distance Weighted (IDW) was near to 4.76% with Regular Bathymetric Section (LRS) spaced between 30 meters up to 180 meters.

Key-words: MDSS. Bathymetric survey. Horizontal positioning methods. Bathymetric data interpolation methods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA.....	24
FIGURA 2 - LARGURA DO FEIXE DEFINIDA A UM NÍVEL DE -3DB.....	28
FIGURA 3 - POSICIONAMENTO ABSOLUTO CINEMÁTICO	32
FIGURA 4 - PRINCÍPIO DO MÉTODO RELATIVO DE POSICIONAMENTO	33
FIGURA 5 - PRINCÍPIO DE UM POSICIONAMENTO RTK NO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....	36
FIGURA 6 - EXEMPLO DE SEMIVARIOGRAMA	45
FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO BÁSICO DA DISSERTAÇÃO	56
FIGURA 8 - CROQUI DA PISCINA	56
FIGURA 9 - TESTES REALIZADOS NA PISCINA SEPARADOS POR CENAS.....	57
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS OBTIDOS NOS TESTES REALIZADOS NA PISCINA	60
FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ONDE FOI REALIZADO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....	62
FIGURA 12 - ÁREA DE ESTUDO	62
FIGURA 13 - PLANEJAMENTO DAS LINHAS REGULARES DE SONDAGEM E DAS LINHAS DE VERIFICAÇÃO.....	64
FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS DA SEGUNDA FASE	66
FIGURA 15 - FEIÇÕES DA PISCINA E DEFINIÇÃO DOS MARCOS DE REFERÊNCIA PARA A BASE DO RTK	67
FIGURA 16 - OBJETOS USADOS NO TESTE DA CENA 2	70
FIGURA 17 - ECOGRÁFICO DE SONDAGEM DO SOFTWARE POWERNAV	70
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS	71
FIGURA 19 - MODELO DIGITAL DA SUPERFÍCIE SUBMERSA DA PISCINA COM A PRESENÇA DE OBJETOS IMERSOS	71
FIGURA 20 - PERFIS DO MDSS DA PISCINA COM A PRESENÇA DOS OBJETOS SUBMERSOS	72

FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS OBTIDOS NAS CENAS 3 E 4	74
FIGURA 22 - MODELOS GERADOS COM OS INTERPOLADORES KRG E O IDW A PARTIR DOS DADOS BATIMÉTRICOS ADQUIRIDOS NOS TESTES DAS CENAS 3 E 4	75
FIGURA 23 - DADOS BATIMÉTRICOS DAS LV USADOS PARA DETERMINAR O RESÍDUO DE CADA MDSS GERADO	76
FIGURA 24 - DADOS BATIMÉTRICOS DO LB REALIZADO NO PRÉ-RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA	79
FIGURA 25 - ESPAÇAMENTO ENTRE AS LRS E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS DADOS BATIMÉTRICOS	80
FIGURA 26 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO WS3910 E INTERPOLADO PELO KRG	81
FIGURA 27 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO WS3910 E INTERPOLADO PELO IDW	82
FIGURA 28 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO LEICA1200 E INTERPOLADO PELO KRG.....	83
FIGURA 29 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO LEICA1200 E INTERPOLADO PELO IDW	84
FIGURA 30 - DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS DAS LINHAS DE VERIFICAÇÃO	85
FIGURA 31 - EXEMPLO DE HISTOGRAMA DAS DISCREPÂNCIAS	86

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ECOBATÍMETRO SOUTH SDE 28S.....	52
QUADRO 2 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GPS WS3910.....	52
QUADRO 3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR LEICA 1200.....	53
QUADRO 4 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS HIPER SR..	53
QUADRO 5 - ESPECIFICAÇÕES DA EMBARCAÇÃO LEVEFORT MARFIM 6.0....	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES DA VELOCIDADE DO SOM PARA VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SALINIDADE E TEMPERATURA.....	27
TABELA 2 - RESUMO DAS CONSTELAÇÕES REGIONAIS E GLOBAIS DO GNSS	31
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO.....	34
TABELA 4 - ERROS MINIMIZADOS COM O MÉTODO DGNSS	35
TABELA 5 - ACURÁCIA DO DGPSS/DGNSS	36
TABELA 6 - AFASTAMENTO ENTRE AS LRS	38
TABELA 7 - ESPAÇAMENTO ENTRE AS LRS E O NÚMERO DE SEÇÕES BATIMÉTRICAS.....	63
TABELA 8 - MÉDIA DAS PROFUNDIDADES SONDADAS.....	68
TABELA 9 - ACURÁCIA DAS PS SEM APLICAR A REGRA 3-SIGMAS.....	69
TABELA 10 - ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS MENORES QUE 3-SIGMAS	69
TABELA 11 - PROFUNDIDADE DOS OBJETOS NO MDSS DA PISCINA	72
TABELA 12 - ACURÁCIA DO MDSS DA PISCINA PARA OS TESTES DA CENA 273	
TABELA 13 - TESTE DE NORMALIDADE DAS DISCREPÂNCIAS	77
TABELA 14 - TESTE DE SIGNIFICÂNCIA DA MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS DOS MDSS DA PISCINA.....	77
TABELA 15 - RMS DAS DISCREPÂNCIAS GERADAS COM OS MDSS DO TESTE DAS CENAS 3 e 4.....	77
TABELA 16 - VOLUME DOS MDSS DA PISCINA	78
TABELA 17 - VARIAÇÃO DO VOLUME DOS MDSS	78
TABELA 18 - ANÁLISE DA MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS NÃO-PARAMÉTRICAS	87
TABELA 19 - RMS DAS DISCREPÂNCIAS ADVINDOS DOS MDSS DO PRÉ-RESERVATÓRIO	88
TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS RMS EM RELAÇÃO AO RMS OBTIDO COM AS DISCREPÂNCIAS DO MDSS-LRS-15M	89
TABELA 21 - VOLUME DOS MDSS DO PRÉ-RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA. .	91

LISTA DE SIGLAS

ADCP	– <i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
AJB	– Águas Jurisdicionais Brasileiras
AL	– Altura da Lâmina d'água
ANA	– Agência Nacional de Águas
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
BDS	– <i>BeiDou Navigation Satellite</i>
CAV	– Cota x Área x Volume
CHM	– Centro de Hidrografia da Marinha
CTD	– <i>Conductivity, Temperature and Depth</i>
D-GNSS	– <i>Differential-GNSS</i>
DMT	– <i>Data Metrics</i>
DoD	– <i>Department of Defense</i>
FM	– <i>Frequency Modulation</i>
GLONASS	– <i>GLObal NAVigation Satellite System</i>
GNSS	– <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPRS	– <i>General Packet Radio Service</i>
GPS	– <i>Global Positioning System</i>
GSM	– <i>Global System for Mobile Communication</i>
IAG	– <i>International Association of Geodesy</i>
IBGE	– <i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IDW	– <i>Inverse Distance Weighting</i>
IGS	– <i>International GNSS Service</i>
ITRS	– <i>International Terrestrial Reference System</i>
JPO	– <i>Navy Navigation System</i>
KRG	– <i>Kriging</i>
LB	– Levantamento Batimétrico
LH	– Levantamentos Hidrográficos
LPL	– <i>Local Polynomial</i>
LRS	– Linhas Regulares de Sondagem
LV	– Linhas de Verificação
MAV	– <i>Moving Average</i>
MDSS	– Modelo Digital da Superfície Submersa
MDP	– Modelo Digital de Profundidade
MDT	– Modelo Digital do Terreno
MNT	– Modelo Numérico de Terreno
MSP	– <i>Modified Shepard's</i>
MVC	– <i>Minimum Curvature</i>
NavIC	– <i>Navigation with Indian Constellation</i>
NAVSTAR	– <i>Navigation System with Timing and Ranging</i>
NEN	– <i>Nearest Neighbour</i>
NNSS	– <i>Navy Navigation System</i>
NST	– Número de Seções Topobatimétricas
NTN	– <i>Natural Neighbour</i>
NTRIP	– <i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
OHI	– Organização Hidrográfica Internacional

PMP	– Prefeitura Municipal de Piraquara
PP	– Posicionamento por Ponto
PRG	– <i>Polynomial Regression</i>
PS	– Profundidades Sondadas
PVS	– Perfilador de Velocidade de Som
QGIS	– <i>Quantum GIS</i>
QZSS	– <i>Quasi-Zenith Satellite System</i>
RBF	– <i>Radial Basis Function</i>
RBMC	– Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RDS	– <i>Radio Data Service</i>
RMC	– Região Metropolitana de Curitiba
RMS	– <i>Root Mean Square</i>
	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services Special</i>
RTCM	– <i>Committee</i>
RTK	– <i>Real Time Kinematic</i>
SA	– <i>Selective Availability</i>
SANEPAR	– Companhia de Saneamento do Paraná
SIG	– Sistemas de Informação Geográfica
SNGRH	– Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SONAR	– <i>SOund Navigation and Ranging</i>
TIN	– <i>Triangulated Irregular Network</i>
TLI	– <i>Triangulation with Linear Interpolation</i>
UHE	– Usinas Hidrelétricas de Energia
UMTS	– <i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
URSS	– União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTM	– <i>Universal Transverse Mercator</i>
VC	– Volume Calculado/ Volume de Preenchimento
VHF	– <i>Very High Frequency</i>
VR	– Volume Real
WAD-GNSS	– <i>Wide Area Differential-GNSS</i>
WGS84	– <i>World Geodetic System 1984</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVO GERAL	21
1.1.1	<i>Objetivos Específicos</i>	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO	23
2.2	BATIMETRIA	24
2.2.1	<i>Princípio do Ecobatímetro</i>	24
2.2.2	<i>Ecobatímetro</i>	27
2.2.2.1	Determinação da Profundidade	28
2.2.3	<i>Posicionamento horizontal da embarcação</i>	30
2.2.3.1	Método Absoluto	31
2.2.3.2	Método Relativo	33
2.2.3.3	Método em Tempo Real ou Diferencial	35
2.2.4	<i>Sincronização do Sistema Sonar com o Sistema de Posicionamento Horizontal</i>	37
2.2.5	<i>Aquisição dos Dados Batimétricos em Reservatórios</i>	37
2.2.6	<i>Planejamento do Levantamento Batimétrico</i>	38
2.2.7	<i>Erros vinculados ao Levantamento Batimétrico</i>	39
2.3	MODELO DIGITAL DA SUPERFÍCIE SUBMERSA (MDSS): DADOS DE ENTRADA E INTERPOLADORES	40
2.3.1	<i>Inverse Distance Weighted (IDW)</i>	43
2.3.2	<i>Kriging (KRG)</i>	43
2.4	CÁLCULO DO VOLUME DE PREENCHIMENTO DOS MDSS	46
2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICO DOS DADOS BATIMÉTRICOS	47
2.5.1	<i>Teste de Hipóteses</i>	48
2.5.1.1	Testes para dados paramétricos	49
2.5.1.2	Testes para dados não-paramétricos	50
3	MATERIAL E MÉTODOS	52
3.1	EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS	52
3.2	FASES DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS BATIMÉTRICOS	55
3.2.1	<i>Testes em Ambiente Controlado - Fase 1</i>	56
3.2.1.1	Planejamento da Aquisição dos Dados Batimétricos	56

3.2.1.2	Aquisição dos Dados Batimétricos e Processamento (A)	58
3.2.2	<i>Fase 2 – Levantamento Batimétrico do pré-reservatório</i>	61
3.2.2.1	Características gerais da área de estudo	61
3.2.2.2	Planejamento do Levantamento Batimétrico	62
3.2.2.3	Aquisição dos Dados Batimétricos	64
3.2.2.4	Processamento (B)	65
4	RESULTADOS	67
4.1	RESULTADOS OBTIDOS NA FASE 1	67
4.1.1	<i>Análise dos Testes Realizados na Cena 1</i>	68
4.1.2	<i>Análise dos Testes Realizados na Cena 2</i>	70
4.1.3	<i>Análise dos Testes Realizados na Cena 3 e Cena 4</i>	74
4.2	RESULTADOS OBTIDOS NA FASE 2	79
4.2.1	<i>Cálculo do Volume dos MDSS</i>	91
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	94
6	REFERÊNCIAS	98
	APÊNDICE I	103
	APÊNDICE II	104
	APÊNDICE III	105
	APÊNDICE IV	106
	APÊNDICE V	107
	APÊNDICE VI	108

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório das Nações Unidas (UNRIC, 2009) o crescimento acelerado da população mundial, as mudanças climáticas, a má gestão dos recursos hídricos e a crescente demanda de energia estão a exercer pressões intensas nas reservas de água do mundo. O relatório calcula que, devido às alterações climáticas, em 2030, quase metade da população mundial venha a viver em zonas de elevado *stress* hídrico. A população atual no Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018a), está em 207,7 milhões de habitantes e possui uma taxa de crescimento de 0,77% para o período de 2016-2017. Devido a momentos de transição que o Brasil vivenciou, onde ocorreu melhoria da situação econômica, como apontam Carmo et al. (2014), houve um aumento no consumo de água, que foi causado tanto pela expansão do sistema de abastecimento em áreas urbanas quanto pela tendência de aumento do gasto *per capita*. Estudos mais recentes realizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2019) indicam que o consumo e uso das águas no país devem crescer 24% até 2030. De acordo com a agência, o país usa, em média, a cada segundo, 2 milhões e 83 mil litros de água. Em 2030, esse total pode chegar a 2,5 milhões de litros por segundo (EBC, 2019).

Apesar de abundância do recurso hídrico potável, como aponta o IBGE (2018b), o Brasil em 2015 apresentava 6,2 trilhões de m³ de recursos hídricos renováveis, havendo retirada em torno de 3,2 trilhões de m³ - para atendimento próprio e captação de água para distribuição - obtendo um valor, em 2015, no consumo total de 30, 6 bilhões de m³. Sendo assim, políticas foram criadas a fim de garantir a disponibilidade e a qualidade da água para o abastecimento público e a preservação do meio ambiente.

A preocupação no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil iniciou-se com a promulgação do Código das Águas, em 1934. Este Código estabeleceu um ordenamento jurídico para o uso das águas, com normas claras para o aproveitamento dos cursos d'água, especialmente para geração de energia. Na Constituição Federal de 1988, foi incluído o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Como consequência da regulação dos dispositivos constitucionais, no dia 08 janeiro de 1997, foi aprovada a Lei nº 9.433, conhecida por Lei das Águas, estabelecendo a Política Nacional de Recursos Hídricos e instituindo o SNGRH. Em

julho de 2000 o SNGRH aprova a criação da ANA (KETTELHUT e BARROS, 1997; ANA, 2002).

O saneamento básico se refere ao conjunto de quatro serviços: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e a drenagem e manejo dos resíduos industriais. No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei nº. 11.445/2007, cujo princípio é a sua universalização, para que todos tenham acesso ao abastecimento de água de qualidade e em quantidade suficiente às suas necessidades (BATISTA, 2012). Esses serviços geralmente são prestados por empresas estaduais ou privadas, enquanto a gestão dos recursos hídricos é competência do governo dos estados e da União.

No Estado do Paraná, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) é a responsável pela gestão e a universalização dos serviços básicos de saneamento. Ela foi fundada na década de 1960, com economia mista e capital aberto, controlada pelo Estado. A origem da água que essa companhia distribui na região da capital paranaense vem de três principais rios: Iraí, Iguaçu e Passaúna. O Rio Passaúna, por exemplo, está localizado à margem esquerda da capital, apresentando uma bacia de drenagem, segundo Andreoli et al. (2000), de 145 Km² a qual contribui 2000 L/s para o sistema de abastecimento de Curitiba.

A água usada para o abastecimento normalmente é captada diretamente em rios, poços ou em reservatórios. Quando se trata destes últimos, as empresas responsáveis pela coleta e distribuição da água no território brasileiro são desafiadas a manejar esse recurso, evitando, de certo modo, que haja falta nas residências. No entanto, é necessário que exista um conhecimento minucioso da capacidade volumétrica do reservatório e principalmente os fatores que afetam essa capacidade de armazenamento. Nesse contexto, o assoreamento é um dos fatores mais preocupantes nesses ambientes, onde a sua origem se dá devido ao aumento da taxa de deposição das partículas em virtude da alteração e redução da velocidade do fluxo de água, e sua influência (CARVALHO, 2008).

Uma das formas para identificar o acúmulo de sedimentos é a realização de levantamentos batimétricos. Para grandes reservatórios, a ANA vem por meio das Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume (CAV) estabelecer condições e procedimentos que devem ser adotados em reservatórios objetivando à

geração de energia hidrelétrica. Para áreas marinhas existe a NORMAM -25 (DHN) (2017), a qual estabelece normas e procedimentos para Levantamentos Hidrográficos (LH) em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). Para reservatórios com dimensões menores, e.g. reservatórios para captação e distribuição de água, não existem normas específicas que possibilitem a determinação da CAV e conseqüentemente um monitoramento adequado.

O LH envolve técnicas para a aquisição de dados: geológicos, maregráficos, fluviométricos, topo-geodésicos, de ondas, de correntes e batimétricos. Este último, envolve levantamentos encarregados da realização (obtidas por meio de ecobatímetros) de profundidades associadas a uma posição (posicionamento por satélites) na superfície da água (KRUEGER et al., 2003). O ecobatímetro é um tipo particular de sonar, cujo feixe acústico é transmitido verticalmente por um transdutor instalado na embarcação. O som propaga-se pela coluna d'água até atingir o fundo submerso, parte do som é refletido e outra que retornou ao sistema sonar é registrada (SILVEIRA, 2004). Quando o sistema trabalha com transdutor que emite um único feixe é chamado de sistema monofeixe, no caso do transdutor que emite feixe em forma de leque, é conhecido como sistema multifeixe.

Quando o levantamento batimétrico se dá através do sistema monofeixe, o detalhamento da superfície topográfica submersa é uma inferência da disposição dos dados batimétricos e da precisão de aquisição destes dentro dos limites especificados para cada equipamento ecobatimétrico. Por conseguinte, a precisão do Modelo Digital da Superfície Submersa (MDSS) está relacionada a esses preceitos e, conseqüentemente, influencia na precisão volumétrica de reservação. Se em reservatórios que visam à captação de água, onde o conhecimento da capacidade de armazenamento é de suma importância para o gerenciamento do recurso hídrico, então, ao usar equipamento sonar monofeixe para obtenção dos dados batimétricos, a definição do espaçamento entre as linhas regulares de sondagem é necessária.

Alguns estudos foram desenvolvidos em reservatórios usando levantamento batimétrico com diferentes focos de investigações. Estigoni (2012), por exemplo, averiguou a influência da quantidade e disposição de dados na modelagem de terrenos aplicada a batimetria em reservatórios de Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE). O levantamento batimétrico foi feito com o ecobatímetro monofeixe *Bathy 500*

MF. O estudo constatou que o aumento do espaçamento entre as seções batimétricas possuía menor influência na região do corpo principal do reservatório que na região dos braços e, que quanto maior o espaçamento entre as seções maior foi o erro associado ao cálculo do volume.

Já Matos (2012) examinou as melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional "CAV - NH". O estudo foi realizado em um reservatório para geração de energia, onde empregou o ecobatímetro *Bathy-500 MF Survey Echo Sounder* para obtenção dos dados batimétricos. O trabalho apresentou um método para modelagem do levantamento batimétrico e apresenta uma nova ferramenta computacional que auxilia a obtenção de curva Cota-Área-Volume.

Bihalva (2013) realizou batimetria de pequenos reservatórios através de metodologia convencional e alternativa. Sendo a convencional usando a trena e alternativa usando aparelho sonar *Garmin Fishfinder 90*. Segundo o autor, os volumes dos reservatórios não tiveram diferenças significativas entre Trena e Sonar, ou seja, valores de observações medidas e valores de observações estimadas resultaram estatisticamente a correlação com resposta acima de 0,99%. Com este resultado, o autor concluiu que a determinação do volume de reservação nos reservatórios foi satisfatória e atingiu o objetivo, que era a substituição da forma de medir profundidades com trena para medir com sonar.

Mezine (2015) desenvolveu uma metodologia para monitoramento do assoreamento do reservatório da usina hidrelétrica de Mauá-PR. O levantamento batimétrico foi realizado por meio do ecobatímetro *Reson Navisound 215*. O autor apresentou três métodos para redução das sondagens: sendo o primeiro por meio do nível d'água observado por régua linimétrica; o segundo, o nível d'água rastreado com RTK (*Real Time Kinematic*) estático e; terceiro, o nível d'água coletado com RTK em movimento. O primeiro e o segundo método apresentaram resultados equivalentes, o que mostrou a viabilidade da aplicação destes na área de estudo.

Gentil (2015) fez um levantamento batimétrico a fim de verificar a sedimentação no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Caçu – Goiás. O levantamento batimétrico foi realizado por meio do *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*, a qual permitiu constatar as alterações do assoreamento do reservatório, mapear o campo velocidade

do fluxo da água por meio das observações do ADCP e, com isso, constatou locais mais propensos ao acúmulo de sedimentos.

As pesquisas supracitadas apresentam estudos em reservatórios, porém estes, em grande parte, foram desenvolvidos em reservatórios cujo propósito é a geração de energia. Em reservatórios para captação de água, pode-se citar os estudos realizados por Fernandes (2012), que realizou um estudo espacial do reservatório Serra Azul – MG, levando-se em consideração a batimetria, parâmetros morfológicos e hidrodinâmicos e influência na distribuição horizontal da clorofila. Os dados batimétricos foram obtidos por do meio do Ecobatímetro *SonarLite* (Ohmex) de frequência única (200KHz), estes, no entanto, foram interpolados pelo método *Kriging*. O modelo gerado permitiu identificar detalhes da morfometria do fundo da represa e identificar a localização das principais depressões das áreas mais rasas e, admitiu, também, identificar os locais com maiores profundidades nas regiões próximo à barragem.

No entanto, no âmbito dos estudos supracitados, não foram identificadas pesquisas em reservatórios para captação de água cujos propósitos se enquadram na investigação da influência do espaçamento entre as linhas regulares de sondagem para a geração dos Modelos Digitais da Superfície Submersa desses ambientes e, conseqüentemente, as inferências na determinação do seu volume de preenchimento.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência do espaçamento na distribuição dos dados batimétricos advindos de um equipamento monofeixe para a determinação volumétrica de um reservatório cujo propósito é a captação de água.

1.1.1 Objetivos Específicos

- I. Investigar a precisão e a acurácia de dados batimétricos obtidos com emprego de ecobatímetro monofeixe em ambiente controlado;
- II. Verificar a influência do efeito de borda nos dados batimétricos através de testes em ambiente controlado;

- III. Definir um Modelo Digital da Superfície Submersa padrão a partir do Levantamento Batimétrico realizado no pré-reservatório do Passaúna possibilitando melhorar a eficiência na determinação do volume do reservatório.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

Entende-se como LH o conjunto de atividades executadas na obtenção de dados batimétricos, geológicos, maregráficos, fluviométricos, topo-geodésicos, oceanográficos e geofísicos, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, que não tenham como finalidade a pesquisa e a investigação científica (RAMOS e KRUEGER, 2007). O seu principal propósito, conforme a Organização Hidrográfica Internacional (OHI, 2008), é produzir cartas náuticas com feições suficientemente acuradas que auxiliem na navegação de embarcações. A Marinha do Brasil por meio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), é a responsável pelo planejamento e pela validação dos dados resultantes de LH destinados à construção destas cartas.

O LH não é usado unicamente para a confecção de cartas náuticas. Com o advento tecnológico, principalmente no período pós-guerra, possibilitou a realização de medições com acurácia de detalhamento de superfícies suficiente que atendesse, não só os interesses dos navegantes, mas, também, investigações científicas. Investigações estas - dentro da área de acústica - que procuravam resolver os problemas da engenharia hidrográfica (SHALOWITZ, 1931).

O processamento do sinal acústico e a tecnologia dos transdutores e acobatímetros, permitiram determinar, a um nível acurado, a profundidade onde se encontrava as feições no leito aquático. Para isso, exigia-se conhecimentos específicos da iteração do som com a coluna d'água e das infinidades de equipamentos disponíveis para medição de profundidade. Os primeiros Levantamentos Hidrográficos nos Estados Unidos, por exemplo, eram realizados através do método *Lead Line Survey*. Tal método consistia na determinação de profundidade por meio de um prumo amarrado em uma corda graduada. A partir de 1904 passaram a usar o método *Wire Drag Survey*, no qual um fio ligado a dois navios era arrastado entre dois pontos, esse sistema permitia a determinação da profundidade e a posição das rochas submersas. Só a partir da década de 1930, foi desenvolvido o sistema acústico para medições de profundidade, tal sistema foi derivado de um programa militar americano e trabalhava com os dados de um sistema monofeixe. Entre os anos de 1950 até 1970, outros sistemas foram desenvolvidos

dando início a era da tecnologia sonar de múltiplos feixes (NOAA, 2017).

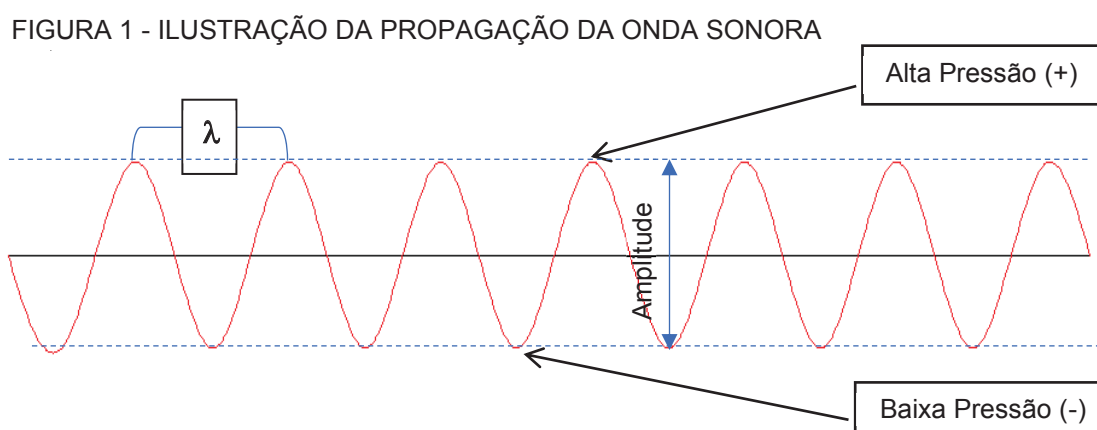
2.2 BATIMETRIA

A técnica dentro do LH responsável pela aquisição das medidas de profundidade em uma coluna d'água é denominada de batimetria. O termo batimetria é de origem da língua inglesa *Bathmeter* (*batho* + *meter*), do Grego “βαθύς”, *deep*, “μέτρον”, *measure*, que significa medir profundidade. O objetivo maior de um Levantamento Batimétrico (LB) é a determinação e representação gráfica do relevo topográfico de áreas submersas, que pode ser expressa cartograficamente pelas linhas isobáticas – as quais são semelhantes às curvas de nível topográficas (KRUEGER et al., 2003).

2.2.1 Princípio do Ecobatímetro

Todos os métodos acústicos para a obtenção de dados batimétricos têm o mesmo princípio físico de funcionamento. Trata-se da propagação da onda sonora através da coluna d'água a uma velocidade específica conforme a característica do meio de propagação do sinal.

O som é uma espécie de onda de compressão que é propagado por vibração. Essa compressão forma a chamada pressão acústica (Figura 1) que tem um comportamento de sobe (alta pressão) e desce (baixa pressão), essa pressão varia conforme a função $\text{seno } \omega t$, com t o tempo e ω a frequência angular da oscilação (SIMMONDS e MACLENNAN, 2007).



Fonte: Adaptado de Simmonds e Macleannan (2007)

As ondas sonoras podem ser comparadas pela sua amplitude - uma medida da altura do som e sua frequência ($f = \frac{\omega}{2\pi}$, número de ciclos por segundo, unidade em Hertz - Hz) ou comprimento de onda (λ) que está relacionada com a velocidade de propagação do som (Equação 1). O comprimento de onda, de acordo com Simmonds e Maclennan (2007), é importante na resolução espacial dos alvos. Quanto menor o comprimento de onda ou quanto maior a frequência, mais fácil é para discriminar alvos que estão próximos um do outro. A frequência, por sua vez, é constante, enquanto a onda varia com as condições locais de propagação.

$$c = f\lambda \quad (1)$$

A velocidade do som, segundo Simmonds e Maclennan (2007), descreve o movimento dos picos de pressão (frente de ondas) através do meio. Ela varia entre 1450 – 1550 m/s e é dependente da temperatura, pressão ambiente e da salinidade. Um grau Celsius de variação da temperatura, segundo OHI (2005), acarreta numa variação de cerca de 4,5 m/s na velocidade de propagação do som.

A salinidade, que é uma medida da quantidade de sais e outros minerais dissolvidos na água, a qual é mensurada como a quantidade total de sais dissolvidos na água do mar em partes por milhar (‰). No mar, por exemplo, ela é da ordem de 35‰ e na água doce, segundo Merten e Minella (2002), pode variar de 0 e 0,5 por cento (%). A taxa de variação da velocidade de propagação do som na água, conforme OHI (2005), é de aproximadamente $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para uma variação de 1 ‰ na salinidade.

No caso da pressão, que é uma função da profundidade, a taxa de variação da velocidade do som é de $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ por cada 10 atmosferas (aproximadamente por cada 100 metros de profundidade). A pressão tem maior influência na velocidade do som em áreas profundas. A temperatura, salinidade e a pressão estão diretamente relacionadas com a densidade da água - cinquenta por cento da água no oceano apresenta uma densidade entre $1027,7$ e $1027,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. A maior influência na densidade é a compressibilidade da água com a profundidade (OHI, 2005).

Kuwahara (1938) foi o primeiro a determinar a velocidade do som para águas marinhas em função da salinidade e no ano de 1951 aprimorou esta metodologia. Mackenzie (1960) implementou computacionalmente a equação de Kuwahara. Já para água doce, Del Grosso e Mader (1972) desenvolveram a Equação (2) que

permite calcular a velocidade (c) a uma dada temperatura (T em $^{\circ}\text{C}$). Segundo Simmonds e Maclennan (2007), a acurácia da velocidade determinada através dessa equação chega a $0,015\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ em águas com temperatura entre $0 - 95^{\circ}\text{C}$.

$$c = 1402,3885,03711T - 0,05800852T^2 + 0,3342 * 10^{-3}T^3 - 0,1478 * 10^{-5}T^4 + 0,315 * 10^{-8}T^5 \quad (2)$$

Com o tempo, foram desenvolvidos instrumentos para medir a velocidade do som. Cita-se, por exemplo, o Perfilador de Velocidade de Som (PVS), que é composto por um sensor de pressão para medir a profundidade e um par transdutor/refletor separados de uma distância (d). Tem-se, também, o *Conductivity, Temperature and Depth* (CTD), que é um equipamento eletrônico com sensores de condutividade, temperatura e profundidade - este equipamento registra a salinidade por medição da condutividade elétrica da água (OHI, 2005).

Outra forma de se determinar a velocidade média do som na coluna de água é através da técnica *bar-check*. Segundo OHI (2005), esse sistema consiste em arriar uma chapa refletora a várias profundidades, por baixo do transdutor, registrando o erro de medição da profundidade, a corrigir durante o processamento dos dados, ou levando o sondador a registrar a profundidade correta atuando no parâmetro de velocidade de propagação do som na água. Neste caso, o valor adotado para a calibração deve corresponder à média das observações. Este método é recomendado para ser utilizado em profundidades de 20 a 30 m.

Desprovido dos equipamentos supracitados, e.g. SVP o CTD, pode-se recorrer a tabelas que correlacionam a temperatura com a salinidade. A TABELA 1 é um exemplo do equipamento *South Surveying* e apresenta uma matriz de valores da velocidade do som para várias combinações de salinidade e temperatura.

TABELA 1 - VALORES DA VELOCIDADE DO SOM PARA VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SALINIDADE E TEMPERATURA.

VELOCIDADE DO SOM (m/s)										
SALINIDADE										
TEMPERATURA		0 ‰	5 ‰	10 ‰	15 ‰	20 ‰	25 ‰	30 ‰	35 ‰	40 ‰
	0 °C	1400	1407	1414	1421	1481	1435	1442	1449	1445
	5 °C	1424	1431	1437	1444	1451	1457	1464	1470	1447
	10 °C	1445	1452	1458	1464	1471	1477	1483	1490	1496
	15 °C	1464	1470	1476	1482	1488	1495	1501	1507	1513
	20 °C	1481	1487	1493	1498	1504	1510	1516	1521	1527
	25 °C	1496	1502	1507	1513	1518	1523	1529	1534	1540
	30 °C	1510	1515	1520	1525	1530	1535	1540	1546	1551
	35 °C	1522	1526	1531	1536	1541	1546	1551	1555	1560
	40 °C	1532	1537	1541	1546	1551	1555	1560	1564	1569

Fonte: Adaptado do Manual SOUTH SURVEYING (s.d.)

2.2.2 Ecobatímetro

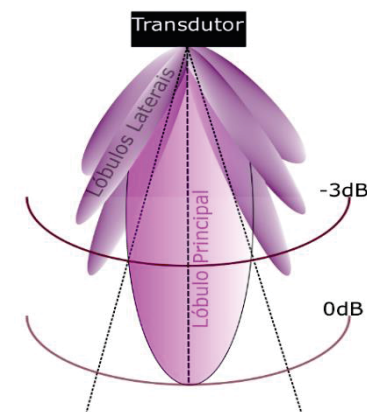
De acordo com Simmonds e MacLennan (2007) e Banul (2014), sonar (*SOUND Navigation and Ranging*) é um termo geral para qualquer dispositivo que usa o som para a detecção remota ou a observação de objetos na água. O ecobatímetro é um tipo particular de sonar, cujo feixe acústico é posicionado verticalmente em uma embarcação para fazer medições de profundidade. Quando o sistema sonar é composto por um único transdutor ou a agregação de elementos de transdutores em que cada transdutor emite um único feixe é chamado de sistema monofeixe, no caso do transdutor que emite feixe em forma de leque, é conhecido como sistema multifeixe.

O transdutor é constituído por um material cerâmico piezoelétrico que é o responsável pela emissão do som. De acordo com Mason (1964), quando uma diferença de potencial é aplicada a este material, uma tensão é gerada induzindo uma deformação no cristal que gera uma onda de pressão no meio. Mais detalhes do princípio físico pode ser encontrado em Sherman e Butler (2007).

Uma das características de um transdutor é a largura do feixe em que o som é transmitido, frequentemente definido como o ângulo de feixe a um nível de -3dB (Figura 2). A medição da profundidade é efetuada para qualquer direção dentro do cone definido pela largura do feixe, este, no entanto, está relacionado com as dimensões e a frequência do transdutor. Quanto maior a frequência e quanto maior a dimensão do transdutor, mais estreito o feixe. Assim, para se obter um feixe estreito em baixas frequências é necessário um transdutor com grandes dimensões. Feixes

estreitos tipicamente são requeridos para mapeamento de elevada resolução, trabalhando com estes entre 2° a 5° (OHI, 2005; SIMMONDS e MACLENNAN, 2007).

FIGURA 2 - LARGURA DO FEIXE DEFINIDA A UM NÍVEL DE -3DB



Fonte: Adaptado de OHI (2005)

Outra característica do transdutor é a sua frequência de operação. As frequências mais usadas em sondadores acústicos para águas rasas, segundo Banul (2014), são as que estão entre 30 – 219 kHz ; para águas profundas, estas estão entre 10 – 15 kHz. A OHI (2005) indica transdutores com frequências acima de 200 kHz para sondagens em áreas com profundidades inferiores a 100 metros; entre 50 e 200 kHz, para profundidades inferiores a 1500 metros; para profundidades superiores a 1500 metros, utiliza-se sondadores com frequências entre 12 e 50 kHz e; para perfiladores de sedimentos, usa-se frequências inferiores a 8 kHz. Ressalta-se que quanto mais elevada a frequência maior a atenuação e, conseqüentemente, menor o alcance e a penetração das ondas acústicas no volume de sedimentos.

2.2.2.1 Determinação da Profundidade

O som produzido pela vibração das cerâmicas é transmitido através da coluna d'água até atingir a superfície submersa, onde o eco refletido por essa superfície é captado pelo receptor, amplificado pelos circuitos eletrônicos e exibidos no *display* do ecobatímetro, os chamados ecogramas. Depois de algum tempo o transmissor emite outro pulso e todo o processo é repetido. Um transdutor usado para ouvir sons subaquáticos é chamado de hidrofone, ecobatímetros mais modernos conseguem emitir e ouvir o som, executando as duas tarefas (SIMMONDS e MACLENNAN, 2007).

Esse tempo de ida e volta do som (Δt) multiplicado pela velocidade do som (c) é usado para determinar a profundidade da superfície submersa, que pode ser observada na Equação (3). Observa-se que a profundidade é obtida de forma indireta através do tempo medido pelo equipamento sonar, que está correlacionado com a velocidade do som ao se propagar na coluna d'água.

$$Profundidade = \left(\frac{1}{2}\right) * c * \Delta t \quad (3)$$

Alguns parâmetros como o comprimento do pulso, potência, o ganho, *Blanking Pulse Length* e o *threshold* podem afetar a medição acurada da profundidade (SOUTH SURVEYING, s.d.). O comprimento do pulso, por exemplo, indica a duração do pulso transmitido para a água, normalmente é dado em milissegundos. Segundo OHI (2005), quanto maior o comprimento do impulso, mais energia é colocada na água e, portanto, maior será o alcance atingido pelo sondador acústico. Em águas rasas quando o pulso é muito longo pode ocasionar imprecisão na determinação da profundidade devido a ocorrência de sobreposição do pulso emitido com o eco. Efeito oposto ocorre quando o comprimento do pulso é curto e é usado em águas profundas, o eco pode não ser ouvido pelo receptor.

Já a potência está relacionada com a profundidade da coluna d'água. Em águas rasas trabalha-se com baixa potência e em águas profundas usa-se potências mais elevadas (SOUTH SURVEYING, s.d.).

O ganho significa a amplificação na recepção do sinal de retorno. Normalmente aumenta-se o ganho quando o retorno do sinal é fraco. Porém, quando se aumenta o ganho, aumenta também o ruído nos dados batimétricos. Faz-se alteração no ganho quando o digitalizador não consegue encontrar o fundo correto (SOUTH SURVEYING, s.d.).

O sinal remanescente na superfície do transdutor, produzido após a emissão do som, é conhecido como *Blanking Pulse Length*. Este sinal pode afetar o registro do sinal de retorno e, por conseguinte, a medição precisa do fundo. Recomenda-se um *Blanking Pulse Length* com um milissegundo maior que o comprimento do pulso (SOUTH SURVEYING, s.d.).

O *threshold* é o responsável por determinar o tempo em que o registrador inicia ou para de registrar o eco. Quando aumenta esse parâmetro, sinais fracos podem ser

registrados, ao contrário disso, o eco pode não ser identificado (SOUTH SURVEYING, s.d.).

2.2.3 Posicionamento horizontal da embarcação

O posicionamento da embarcação durante o LB pode ser feito por diversos métodos que vão dos mais simples, como o visual, até os mais avançados, como o posicionamento usando satélites artificiais.

No caso da constelação dos satélites artificiais cujo propósito principal é a navegação e posicionamento na superfície terrestre, tem-se o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), termo usado atualmente quando se opera com mais de uma constelação de satélites. A primeira constelação, segundo Hofmann-Wellenhof e Lichtenegger (2007) e Monico (2008), foi concebida no início da década de 1960 com o sistema desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos – *Department of Defense* (DoD), o chamado *Navy Navigation System* (NNSS) ou *Transit system*, utilizando o princípio do Doppler. Anos depois, o governo americano incentivou o desenvolvimento de um sistema de navegação de abrangência global, o qual juntou os dois programas sob responsabilidade da Marinha e da Força Aérea: o *Timation* e o *System 621B*. No ano de 1973, o programa *Joint Program Office* (JPO), do *Space and Missile Center at El Segundo* – California, sob responsabilidade do DoD, iniciou o desenvolvimento do sistema *Navigation System with Timing and Ranging* (NAVSTAR), comumente conhecido como *Global Positioning System* (GPS). Cinco anos depois, no dia 22 de fevereiro de 1978, lançaram o primeiro satélite do sistema GPS - Bloco I. Atualmente a constelação GPS é composta por satélites antigos e novos, com satélites do Bloco IIA (2ª geração, "*Advanced*"), Bloco IIR ("*Replenishment*"), Bloco IIR-M ("*Modernizado*"), Bloco IIF ("*Follow-on*"), GPS III e GPS IIIF (U.S. AIR FORCE, 2018).

O GPS não é o único sistema de posicionamento por satélites operacional, conta-se ainda com o *GLObal Navigation Satellite System* (GLONASS), idealizado no início da década de 1970 pela antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Outros como o Chinês *BeiDou Navigation Satellite System* (BDS) e o Galileo já apresentam satélites em órbita, mas ainda não foram declarados operacionais, o que deve ocorrer em 2020. Outros países como Índia com o *Navigation with Indian*

Constellation (NavIC) e o Japão com o *Quasi-Zenith Satellite System* (QZSS) estão em processo de desenvolvimento de um sistema nacional de navegação. A Tabela 2 apresenta uma síntese das principais características de cada constelação do GNSS definido por Langley et al. (2017).

TABELA 2 - RESUMO DAS CONSTELAÇÕES REGIONAIS E GLOBAIS DO GNSS

SISTEMA	GPS	GLONASS	BeiDou	Galileo	QZSS	NavIC
Nº SATÉLITES	24	24	27, 3 e 5	30	3 e 1	4 e 3
INCLINAÇÃO	56°	64,8°	55°	56°	43°	29°
OPERACIONAL	Dez. 1993	Set. 1993	Dez. 2012	2020	2018 (plan)	2016
ORIGEM	USA	Rússia	China	Europa	Japão	Índia
COBERTURA	Global	Global	Global	Global	Oeste da Ásia e parte da Oceania	-30° <φ< 50° 30° <λ< 130°
FREQUÊNCIA (MHz)	L1 1575,42 L2 1227,60 L5 1176,45	L1 1602,00 L2 1246,00 L3 1202,025	B1 1561,098 B2 1207,14 B3 1268,52	E1 1575,42 E5a 176,45 E5b 207,14 E6 1278,75	L1 1575,42 L2 1227,60 L5 1176,45 E6 1278,75	L5 1176,45 S 2492,028

Fonte: Adaptado de Langley et al. (2017).

Por ser um sistema a nível global, o GNSS tem um centro de Serviço Internacional, o *International GNSS Service* (IGS), que foi estabelecido em janeiro de 1994 como um serviço da *International Association of Geodesy* (IAG). A princípio, o IGS fornecia unicamente produtos do sistema GPS, mas em 1998 passou a fornecer produtos (e.g. efemérides) do sistema GNSS. Ressalta-se que os produtos gerados pelo IGS são baseados no sistema de referência geocêntrico fundamentado no *International Terrestrial Reference System* (ITRS), como por exemplo, o *World Geodetic System 1984* (WGS84) (DOW et al., 2009).

O sistema GNSS permite posicionar-se e navegar-se em qualquer parte na superfície terrestre. Os métodos usados para posicionar são diversos e podem ser divididos principalmente em três: método absoluto, método relativo e método em tempo real (diferencial). O método absoluto pode ser estático e cinemático; o relativo classifica-se em estático, estático rápido, *stop and go* e cinemático; o tempo real ou diferencial GNSS (DGNSS) pode ser considerado em linha de base ou em rede (KRUEGER, 1996).

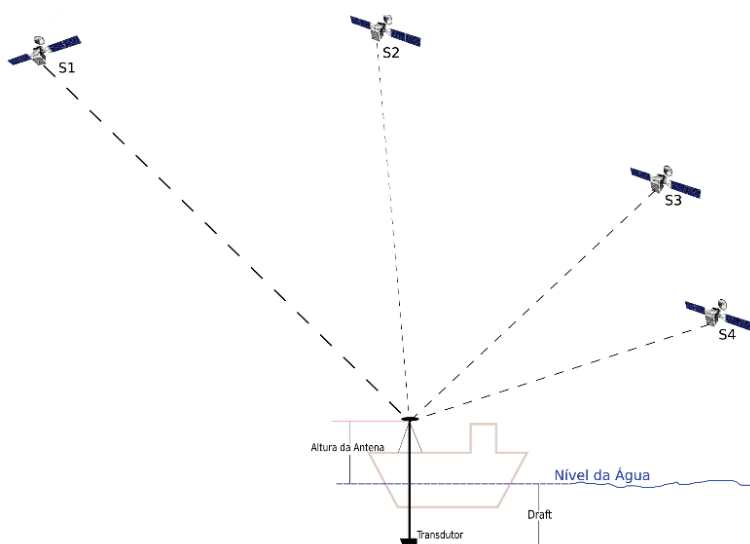
2.2.3.1 Método Absoluto

O método absoluto ou método de Posicionamento por Ponto (PP) é caracterizado pelo fato de utilizar apenas um receptor para adquirir sinais dos satélites

e calcular a sua posição. De acordo com Hofmann-Wellenhof e Lichtenegger (2007), ele usa primordialmente as pseudodistâncias do código C/A do GPS de época em época para determinar sua posição, a acurácia da sua posição horizontal varia de 13 m a 25 m (95%). Pode chegar a um metro caso use um receptor de dupla frequência para adquirir os dados, e estes sejam pós-processados. Conforme Kaplan e Hegarty (2017), no posicionamento instantâneo utilizando receptores de dupla frequência, a acurácia pode variar de 2,6 m a 11,8 m (95%). No caso de receptores de frequência única, a acurácia fica entre 5,9 m a 12,6 m (95%). Essa variação é devido a não correção de erros atuantes no posicionamento como aqueles ocasionados pelo efeito da atmosfera, erro do relógio do receptor, erro da órbita dos satélites observados e os efeitos do multicaminho.

O método Absoluto pode ser Estático ou Cinemático, a diferença entre as duas técnicas está no condicionamento da antena. Quando a antena fica parada em um ponto, a técnica é chamada de estática, ao contrário, quando apresenta um trajeto ou movimento, é chamada de cinemática. Em levantamento batimétrico no qual a embarcação está em movimento o método absoluto emprega a técnica cinemática para determinar a sua posição em diferentes instantes. A acurácia da posição da embarcação vai depender da disponibilidade e da distribuição dos satélites no instante da aquisição dos dados. A Figura 3 esquematiza um LB utilizando um receptor GPS usando o método de posicionamento absoluto com a observação mínima de 4 pseudodistâncias formadas entre os satélites rastreados e a antena instalada na embarcação.

FIGURA 3 - POSICIONAMENTO ABSOLUTO CINEMÁTICO

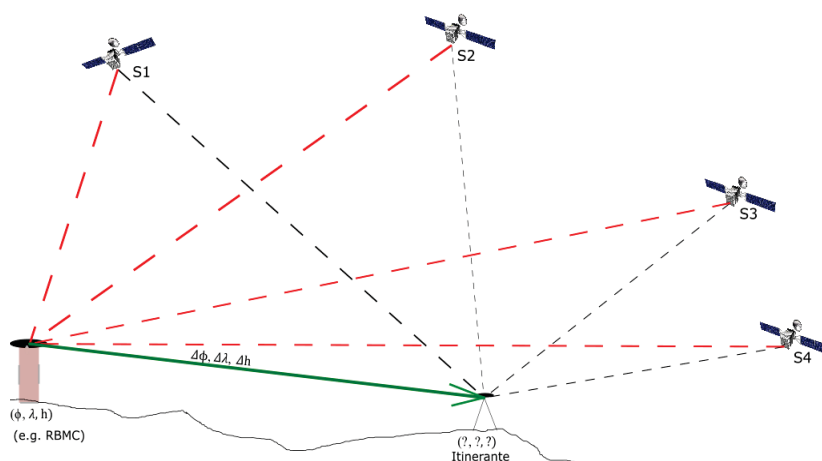


Fonte: o autor (2019)

2.2.3.2 Método Relativo

O método relativo é empregado quando as coordenadas de um receptor são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas (Figura 4).

FIGURA 4 - PRINCÍPIO DO MÉTODO RELATIVO DE POSICIONAMENTO



Fonte: o autor (2019)

Nesse caso, é necessário que no mínimo dois receptores estejam rastreando simultaneamente, onde um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas, a chamada de estação de referência ou estação base. De praxe, essas estações bases pertencem ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) podendo ser as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). A RBMC é um conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas. Contudo salienta-se que no caso do posicionamento relativo estático rápido e nos cinemáticos o usuário deve estar atento ao intervalo de gravação de dados da estação base.

A diferença do método relativo com o método absoluto, de acordo com Krueger (1996), é que no método relativo há uma significativa redução de erros, especialmente do erro do relógio do satélite, erro de órbita dos satélites e da propagação do sinal na atmosfera. E além disso, em geral, utiliza a observável fase da onda portadora para determinar a sua posição.

O método relativo pode ser dividido em técnicas distintas: Estático, Estático Rápido, *Stop and Go* e Cinemático. No estático, o receptor base e o receptor do vértice de interesse (itinerante) permanecem parados durante todo o levantamento. O tempo de ocupação, neste caso, é função do comprimento da linha de base formada e a precisão almejada. O Estático Rápido é semelhante à técnica do relativo Estático, porém, a diferença básica é a duração da sessão de rastreamento, que, em geral, é inferior a 20 minutos. Na técnica *stop and go*, o receptor que ocupa o vértice de interesse permanece estático em um tempo de ocupação curto (este tempo é definido conforme especificações de cada equipamento). O receptor não é desligado ao mover para um novo vértice e assim os dados do trajeto são registrados, mas não geram coordenadas após o processamento. Diferente da técnica cinemática, onde todos os dados do percurso do receptor itinerante são coletados e registrados. Quanto maior a duração do levantamento com coleta de dados sem interrupções, melhor a precisão na determinação das coordenadas. No início deste posicionamento é necessário que uma técnica de inicialização seja empregada (linha de base curta, linha de base conhecida ou intercâmbio de antenas) antes de se efetuar o deslocamento do receptor móvel. O período de inicialização tem o objetivo de armazenar dados por algumas épocas no momento estático visando a rápida resolução das ambiguidades nos instantes iniciais do levantamento durante o processamento (KRUEGER, 1996).

A técnica Relativo Estático é muito usada para determinar coordenadas precisas da estação de referência através das duplas diferenças de fase e da combinação das ondas portadoras rastreadas. A Tabela 3 apresenta a precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha base.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO.

LINHA 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 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 km	mínimo 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 km	mínimo 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: Adaptado do IBGE (2008)

2.2.3.3 Método em Tempo Real ou Diferencial

A principal motivação do desenvolvimento do Método de posicionamento Diferencial foi a presença da *Selective Availability* (SA) no Sistema Global de Posicionamento. A SA foi implementada pelo governo americano para degradar ligeiramente o desempenho do posicionamento GPS através da manipulação das efemérides transmitidas; modificando-se a estabilidade dos parâmetros do relógio dos satélites e introduzindo erros na posição de alguns satélites no espaço. Isso influenciava principalmente na acurácia do método absoluto (PP) chegando a 100 m na vertical e 50 m horizontalmente. No dia dois de maio do ano de 2000 a SA foi desativada (LANGLEY et al., 2017).

A vantagem do método DGNSS em relação ao método Absoluto, é que através da técnica diferencial, certos efeitos são eliminados ou amplamente reduzidos em tempo real (Tabela 4). Existem dois tipos básicos de posicionamento diferencial: linha base, quando se trata de empresas que fornecem serviços em áreas restritas; ou em rede, tipicamente cobrindo uma área ampla, conhecido como o WADGNSS.

TABELA 4 - ERROS MINIMIZADOS COM O MÉTODO DGNSS

FORTE DE ERRO	GNSS (m)	DGNSS (m)
EFEMÉRIDES	2,1	0,1
ERRO DO RELÓGIO DO SATÉLITE	2,1	0,1
IONOSFERA	4,0	0,2
TROPOSFERA	0,7	0,2
MULTICAMINHO	1,4	1,4
RECEPTOR	0,5	0,5
TOTAL	5,3	1,5

Fonte: Adaptado de Hofmann-Wellenhof e Lichtenegger (2007)

Segundo Krueger (1996) e Langley et al. (2017), o DGNSS consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas pela estação de referência. Essas, por sua vez, são enviadas em tempo real por meio de um *link* de comunicação que pode ser por meio de um canal de rádio de comunicação: *Very High Frequency* (VHF), *Frequency Modulation* (FM) e o *Radio Data Service* (RDS); celulares: *Global System for Mobile Communication* (GSM), *General Packet Radio Service* (GPRS) e *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) ou internet: *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP). Estas correções devem estar num formato apropriado definido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee* (RTCM).

Quando a onda portadora foi incluída no modelo de posicionamento a denominação passou a ser RTK. No qual a estação de referência envia correções da fase da onda portadora ou informações da própria onda portadora para a estação móvel. A Tabela 5 apresenta a acurácia do método DGNSS quando usa o código ou a onda portadora no cálculo das correções. Percebe-se ainda nesta tabela que a combinação do código com a onda portadora dá origem ao código suavizado.

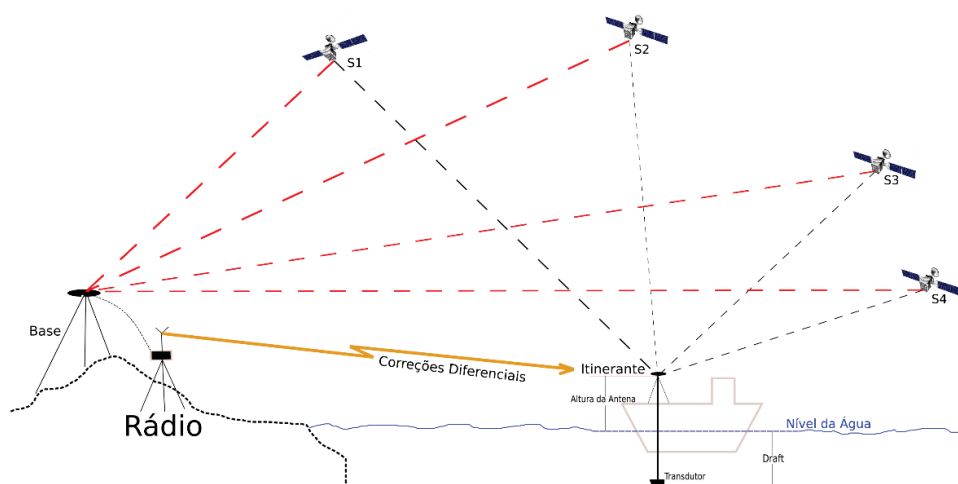
TABELA 5 - ACURÁCIA DO DGPSS/DGNSS

OBSERVÁVEL	LINHA BASE	ACURÁCIA HORIZONTAL
CÓDIGO	1 000 km	< 10 m
CÓDIGO SUAVIZADO	100 km	< 1 m
ONDA PORTADORA (RTK)	± 10 km	< 0,1 m

Fonte: Adaptado de Hofmann-Wellenhof e Lichtenegger (2007).

Em levantamentos batimétricos o uso da técnica RTK é recomendável devido a acurácia de um decímetro no posicionamento horizontal. Em geral o meio de comunicação empregado nestes levantamentos é o rádio/modem enviando as correções em VHF. Em áreas costeiras ou internas com muitas obstruções (Amazônia) tem sido empregado o método diferencial em rede (e.g. *Real-Time Extended* e o *Real-Time GIPSY*). A Figura 5 mostra a integração do sistema GNSS através da Técnica Diferencial com o sistema sonar do ecobatímetro.

FIGURA 5 - PRINCÍPIO DE UM POSICIONAMENTO RTK NO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO



Fonte: O autor (2019)

2.2.4 Sincronização do Sistema Sonar com o Sistema de Posicionamento Horizontal

A determinação precisa da posição de uma determinada profundidade se dá quando existe uma determinação correta da ordenação espacial e temporal dos dados. Segundo Krueger (1999), no âmbito da ordenação espacial há o problema de integração do GPS com o ecobatímetro. Nesse sentido, a transferência das coordenadas da antena GPS para o sistema sonar necessita da orientação da plataforma e de informações sobre o Rolamento (*Roll*), a Arfagem (*Pitch*), e a Guinada (*Yaw*), que são obtidos através do auxílio e sensores de proa (geralmente girobússolas ou agulha *fluxgate*) de sensores inerciais (*Inertial Measurement Units - IMU*) com integração de informação GNSS. De acordo com a ANA (2013), no caso de sistemas sonar monofeixe, ao posicionar a antena do GPS no mesmo eixo do transdutor do ecobatímetro, evita-se a aplicação de correções de “*offset*” e, desse modo, pode-se dispensar o uso de um sistema inercial para o controle da atitude da embarcação durante a execução do LB.

A ordenação espacial, conforme Krueger (1999), consiste na ordenação dos dados de posicionamento com os dados do sonar, tendo, como tempo base, o do sistema GPS. De acordo com o mesmo autor, para alcançar uma precisão decimétrica indica-se um tempo de sincronismo inferior a 0,1 segundo.

2.2.5 Aquisição dos Dados Batimétricos em Reservatórios

A aquisição dos dados batimétricos é o processo que envolve técnicas e métodos para a obtenção de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse, que neste caso é a profundidade onde se encontra o leito subaquático. O processo para aquisição desses dados envolve o planejamento LB, sincronização do sistema de posicionamento horizontal da embarcação com o sistema sonar de ecobatimetria e finalmente a identificação dos erros relacionados ao processo do LB.

Os procedimentos para LB em reservatórios estão indicados na Resolução nº 03, de 10 de agosto de 2010, elaborada pela ANA juntamente com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esta resolução estabelece condições e procedimentos via norma “Orientações para Atualização das curvas Cota x Área x Volume” do ano de 2013. Desta forma esta resolução tem como função orientar os

agentes do setor elétrico sobre os procedimentos de coleta, tratamento e armazenamento dos dados hidrométricos (ANA, 2013).

2.2.6 Planejamento do Levantamento Batimétrico

Inicia-se o planejamento do LB definindo o espaçamento e o posicionamento das Linhas Regulares de Sondagens (LRS). Segundo ANA (2013), estas devem estar dispostas de forma transversal e longitudinal as curvas isobatimétricas do local onde será realizado o LB. As Linhas de Verificação (LV), segundo a mesma norma, devem ter um afastamento recomendado de três vezes o adotado para as LRS. Para definir o afastamento das LRS, Carvalho et al. (2000) sugerem um modelo em função da capacidade de acumulação de água conforme o tipo de reservatório, como exemplificado na Tabela 6.

TABELA 6 - AFASTAMENTO ENTRE AS LRS

ESCALA DO MAPA	DISTÂNCIAS ENTRE AS LRS (m)	TIPO DE RESERVATÓRIO	OBSERVAÇÕES
1:2000	20	Pequeno - P	Permite o desenho de seções a cada 1,0 cm no mapa
1:5000	50	Médio - M	
1:10000	100	Médio a Grande - MG	
1:20000	200	Grande - G	
1:25000	250	Extra – Grande - EG	

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2000)

A ANA (2013) apresenta a Equação (5) para determinar o afastamento entre as LRS para trabalhos com ecobatímetros monofeixe em usinas hidrelétricas. E para os trabalhos em Pequenas Centrais Hidrelétricas a equidistância entre as LRS (ou seções topobatimétricas), no corpo principal do reservatório, deverá ser obtida pela Equação (6).

$$E_{LRS} = \frac{0,35 A^{0,35}}{D} \quad (5)$$

$$E_{LRS} = \frac{0,1 A^{0,25}}{D} \quad (6)$$

onde:

E_{LRS} = equidistância entre as Linhas Regulares de Sondagem, em quilômetros;

A = área do reservatório em seu nível operacional normal, em hectares; e

D = extensão do reservatório (corpo principal), em nível operacional normal, em quilômetros.

As equações estabelecidas pela ANA (2013) e o modelo sugerido por Carvalho et al. (2000) dão um valor para o afastamento entre as LRS, logo é possível saber o número de LRS ou Número de Seções Topobatimétricas (N_{ST}) a serem executadas no projeto. Morris e Fan (1998) apresentam um método, baseado em estudos em 57 reservatórios com áreas entre 30 e 15000 hectares, que permite calcular N_{ST} em função da área do reservatório conforme a Equação (7).

$$N_{ST} = 2,942A^{0,3652} \quad (7)$$

com:

N_{ST} = Número de Seções Topobatimétricas;

A = Área do reservatório, em hectares.

2.2.7 Erros vinculados ao Levantamento Batimétrico

De acordo com a OHI (2005), os erros na determinação da profundidade durante o LB podem ser divididos em três categorias: erros grosseiros, sistemáticos e aleatórios. Os erros grosseiros correspondem aos erros cometidos, por exemplo, pelas máquinas, devido a defeitos dos componentes mecânicos ou eletrônicos. Os erros sistemáticos são o resultado de deficiências da compensação dos erros fixos ou de desvios nas medições, como por exemplo na medição dos movimentos da embarcação, desalinhamento do transdutor e do sensor de movimentos e incerteza nos ângulos de montagem. Estes erros podem ser corrigidos quando são conhecidas as suas grandezas. Após a remoção dos erros grosseiros e sistemáticos, permanecem os erros aleatórios; estes podem ser analisados por meio de técnicas estatísticas.

Pode-se destacar os principais erros durante o LB: erros devido a variação da topografia do leito aquático, que está relacionado com a variação da topografia submersa; erros devido a velocidade de propagação do som, quando a velocidade do som não é definida corretamente; erros devido a medição de tempo, quando o

temporizador do ecobatímetro está desregulado; devido a movimentação da embarcação e; devido ao *draft* (OHI, 2005).

A variação do *draft* durante o LB pode causar erros na determinação correta da profundidade. No entanto, julga-se necessário a medição criteriosa da imersão do transdutor para uma exatidão na aquisição dos dados batimétricos. O erro devido a variação do *draft* é composto por três principais efeitos: *settlement*, *squat* e o *heave*. O *settlement* ocorre quando o *draft* varia positivamente em relação ao *draft* em repouso. O *squat*¹ é devido a velocidade da embarcação durante o LB que gera ondas e estas induzem a variação dinâmica do caimento, esse efeito pode ser calculado em função das recomendações técnicas do fabricante do ecobatímetro. O efeito arfagem/*heave* é causado pela ação do mar sobre a plataforma de sondagem, é medido com sensores inerciais ou com compensadores de arfagem. Recomenda-se que este último seja colocado na vertical dos transdutores para medir a arfagem efetiva do transdutor (OHI, 2005).

A identificação dos erros normalmente é realizada por meio de interpretação do ecograma. Um dos efeitos observados no ecograma é a presença de *spikes*, os quais surgem devido a objetos em suspensão, tais como algas marinhas ou peixes na coluna de água, pela variação brusca da temperatura e/ou salinidade (OHI, 2005).

2.3 MODELO DIGITAL DA SUPERFÍCIE SUBMERSA (MDSS): DADOS DE ENTRADA E INTERPOLADORES

Um dos elementos básicos de qualquer representação digital da superfície terrestre é chamada de Modelo Digital do Terreno (MDT). Segundo Felgueiras e Câmara (2004) um MDT ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre, e.g. o relevo submerso do reservatório. Quando se trata de ambiente aquático, passa a ser denominado de Modelo Digital da Superfície Submersa (MDSS) ou Modelo Digital de Profundidade (MDP).

¹ Quanto maior for a embarcação, maior será esse efeito. Em reservatórios, durante o levantamento batimétrico, normalmente usa-se pequenas embarcações com velocidade de descolamento baixa a fim de evitar a formação de ondas.

A qualidade do Modelo, segundo Tanajura (2008), está diretamente relacionada com a fonte de dados da qual ele foi obtido, que de sua finalidade, exigirá uma grande ou pequena densidade de informações.

Para a geração de um MDSS faz-se necessário a utilização de técnicas de interpolação dos dados de profundidade. Um MDSS é função da profundidade e da sua posição horizontal.

A impossibilidade de medir as profundidades de forma contínua para toda a superfície obriga a definir elementos discretos, por meio da geração de uma malha de dados (*grid*), que se pode referir a uma malha triangular por meio do anglicismo TIN (ingl. *Triangulated Irregular Network*) ou por meio de geração de grades regulares. De acordo com Felgueiras e Câmara (2004), o processo de geração de uma grade regular consiste em estimar os valores de cota de cada ponto da grade a partir do conjunto de amostras de entrada. Quando se faz uso de todas as amostras para interpolar cada ponto da grade diz-se que a interpolação é global. Em caso de grande quantidade de amostras, fica difícil definir-se uma função polinomial capaz de representar satisfatoriamente todas as variações espaciais do fenômeno em estudo. Assim é muito comum utilizar-se interpolação local para o cálculo de cota de cada elemento da grade. Neste caso, o valor de cota de cada elemento da grade é estimado a partir de uma quantidade preestabelecida de amostras vizinhas mais próximas do elemento.

A literatura classifica os interpoladores em determinísticos e probabilísticos. Segundo Mesquita (2009), os modelos determinísticos fazem previsões a partir de funções matemáticas. Já os modelos probabilísticos, além das funções matemáticas, recorrem também a métodos estatísticos, podendo assim, além de criar superfícies espacialmente contínuas, estimar a incerteza das previsões. Como exemplos de interpoladores determinísticos pode-se citar: TIN, Vizinho mais Próximo (ingl. *Nearest Neighbour* - NEN) e Inverso da Potência das Distâncias (ingl. *Inverse Distance Weighting* - IDW). O método *Kriging* é um exemplo de um interpolador probabilístico.

Existem diversos interpoladores e há um certo grau de subjetividade na escolha de um interpolador, pois cada um deles possui vantagens e desvantagens que muitas das vezes se assemelham. Estudos variados foram realizados comparando os principais interpoladores, em seguida destaca-se alguns destes estudos.

El-Hattab (2014) realizou um estudo comparativo com os principais interpoladores na geração de um modelo digital através dos dados batimétricos de um ecobatímetro monofeixe. São eles: *Kriging* (KRG), Curvatura Mínima (ingl. *Minimum Curvature* - MVC), *Modified Shepard's* (MSP), Vizinho mais Próximo (ingl. *Natural Neighbour* - NTN), NEN, Regressão Polinomial (ingl. *Polynomial Regression* - PRG), Função de Base Radial (ingl. *Radial Basis Function* - RBF), TIN, Média Móvel (ingl. *Moving Average* - MAV), *Data Metrics* (DMT) e o *Local Polynomial* (LPL). Foram analisados a precisão de cada interpolador e o esforço computacional para o processamento dos dados. O autor verificou que os métodos TIN e NTN apresentaram menores discrepâncias. O resultado mostrou, também, que o tamanho da grade para gerar o MDT teve uma grande influência na performance dos interpoladores. No entanto, o interpolador TIN foi mais rápido do que o NTN.

Yang et al. (2004) analisaram os 12 interpoladores implementados no *software* SURFER versão 8: *IDW*, KRG, MVC, MSP, NTN, NEN, LPL, RBF, Triangulação com Interpolação Linear (ingl. *Triangulation with Linear Interpolation* - TLI), MAV, DMT e o PRG. Concluíram que o PRG, DMT e o LPL apresentaram os maiores valores de desvios padrão e os interpoladores RBF, KRG e o IDP apresentaram maiores tempo de processamento.

Ferreira (2013) usou os interpoladores KRG e o IDW para a representação computacional de superfícies batimétricas. O autor concluiu que o interpolador KRG supervisionado mostrou-se mais preciso quando comparado com o *krigagem default* em todos os parâmetros de decisão adotados. Ao comparar o KRG com o IDW, verificou-se que o interpolador KRG apresentou melhores resultados em relação ao interpolador IDW para o conjunto de dados estudado. Notou também, que para o cálculo de volume do represamento em questão, o resultado mostrou-se mais acurado quando se aplicou a KRG em um *grid* amostral esparso, comparativamente ao IDW aplicado em dados abundantes. Outro diferencial para se optar pelo uso do KRG é a possibilidade de se gerar um mapa de incertezas da interpolação.

Setianto e Triandini (2013) compararam os dois interpoladores e concluíram que a acurácia do IDW e do KRG é bem semelhante. A vantagem do IDW é a simplicidade nos procedimentos para gerar um modelo digital. No entanto, o KRG fornece uma interpolação mais responsável por basear-se em análise pontual e

atribuindo valores baseados na autocorrelação espacial, ao invés de atribuir um peso universal fundamentado na distância.

Baseando-se nas conclusões desses autores, para este trabalho, optou-se por trabalhar com os interpoladores KRG e o IDW por apresentarem maior acurácia e assim possibilitarem uma melhor análise do volume calculado através do MDSS gerado por eles.

2.3.1 Inverse Distance Weighted (IDW)

O método IDW considera que os dados pontuais são ponderados durante a interpolação, pressupondo que os fenômenos mais próximos serão provavelmente mais parecidos do que os mais distantes. Para prever um valor para uma localização sem medição, o IDW usará os valores medidos na vizinhança desse local, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta.

Segundo Mesquita (2009), a superfície interpolada usando o interpolador IDW depende da seleção do expoente (*Power*) e da estratégia de pesquisa da vizinhança. A equação geral desse método pode ser vista na Equação (8).

$$f(x, y) = \left[\frac{\sum_{i=1}^n w(d_i) z_i}{\sum_{i=1}^n w(d_i)} \right], i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

onde:

z_i = é o valor da observação i ;

d_i = é a distância entre o ponto a estimar e a observação i ;

$w(d_i) = 1/(d_i)^{pw}$ = é a ponderação atribuída à observação i (função do inverso da distância);

pw = é a função expoente potência (*Power*).

2.3.2 Kriging (KRG)

O método KRG é um interpolador relativamente rápido que pode ser exato ou aproximado dependendo do modelo associado à análise do erro relativo à medição. O método depende de modelos matemáticos e estatísticos, assim como da noção de

autocorrelação. Esta por sua vez, está relacionada com as relações entre as variáveis - quando não há correlação, é dito que as observações são independentes. Na geoestatística a informação dos locais espaciais permite o cálculo das distâncias entre as observações e modelar a autocorrelação como uma função da distância, essa função é conhecida como semivariograma (JAKOB e YOUNG, 2006).

O variograma permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno no espaço, chamada de autocorrelação espacial. O gráfico que representa a semivariância em função das distâncias entre pares de pontos amostrados, designa-se por variograma experimental (MESQUITA, 2009). A semivariância é uma medida positiva do grau de dependência espacial entre os pontos amostrados calculada através da Equação (9).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=l}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (9)$$

onde:

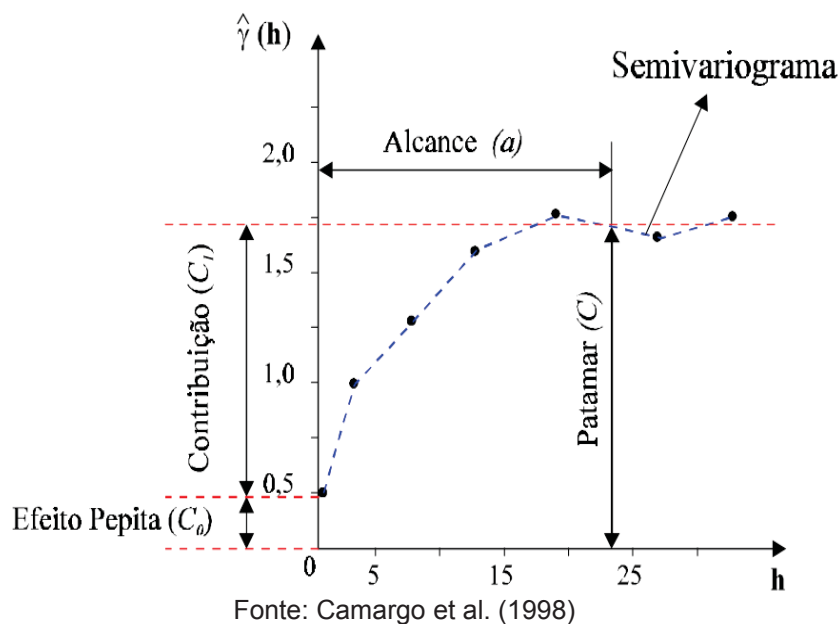
$\hat{\gamma}(h)$ = é a semivariância para o intervalo h ;

$N(h)$ = número de pares de dados que distam de um vetor h ;

$Z(x_i + h) - Z(x_i)$ = é o valor da diferença de um par de dados que distam h entre si.

A Figura 6 ilustra um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $[Z(x_i + h) - Z(x_i)]$ decresçam à medida que h , a distância que os separa decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que $\hat{\gamma}(h)$ aumente com a distância (h) (CAMARGO et al., 1998).

FIGURA 6 - EXEMPLO DE SEMIVARIOGRAMA



Segundo Mesquita (2009), o efeito de pepita (*nugget*) é o valor da semivariância quando a distância (h) tende a zero. À medida que aumenta a distância entre os pontos a serem comparados, maior é a semivariância, até que, a partir de determinada distância (*range* - alcance), a semivariância estabiliza num valor (*sill* - patamar) que é igual à variância dos dados da população considerada, significando que já não existe qualquer relação entre os pares de dados considerados a esta distância.

Assim determinada a autocorrelação entre as observações, a metodologia KRG torna-se semelhante à do IDW uma vez que pondera os valores medidos na vizinhança para derivar uma precisão para um local não medido. A fórmula geral (Equação 10) para ambos os interpoladores se baseia na soma ponderada dos dados (JOHNSTON et al., 2001).

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \vartheta_i Z(S_i) \quad (10)$$

Com $\hat{Z}(S_0)$ sendo o valor a ser predito em uma localização S_0 ; N é o número de pontos em torno do ponto a ser predito; ϑ_i é um peso desconhecido para o valor medido na i -ésima localização, esse peso decai conforme o decrescimento da distância; $Z(S_i)$ é o valor observado na posição (S_i).

2.4 CÁLCULO DO VOLUME DE PREENCHIMENTO DOS MDSS

A determinação volumétrica a partir de um MDSS pode ser feita através de métodos de integração numérica. De acordo com Tanajura (2008), esses métodos consistem em determinar o valor de uma integral definida sob uma função, que nesse caso é definida pela superfície topográfica submersa. Matematicamente, o volume é uma função $f(x, y)$ definida por uma integral dupla:

$$Volume = \int_{y_{min}}^{y_{max}} \int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x, y) dx dy \quad (11)$$

O *software* SURFER (2002) usa uma aproximação linear através de três métodos principais:

a) Regra do Trapézio

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} [G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,col-1} + G_{i,nCol}] \quad (12)$$

$$Volume \approx \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (13)$$

b) Regra de Simpson

$$A_i = \frac{\Delta x}{3} [G_{i,1} + 4G_{i,2} + 2G_{i,3} + 4G_{i,4} + \dots + 2G_{i,col-1} + G_{i,nCol}] \quad (14)$$

$$Volume \approx \frac{\Delta y}{3} [A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (15)$$

c) Regra 3/8 de Simpson

$$A_i = \frac{3\Delta x}{8} [G_{i,1} + 3G_{i,2} + 3G_{i,3} + 4G_{i,4} + \dots + 2G_{i,col-1} + G_{i,nCol}] \quad (16)$$

$$Volume \approx \frac{3\Delta y}{8} [A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (17)$$

com:

Δx = Espaçamento do *grid* entre colunas

Δy = Espaçamento do *grid* entre linhas

$G_{i,1}$ = Valor do *grid* na linha i e coluna j

Se os cálculos de três volumes estiverem razoavelmente próximos, o volume verdadeiro estará próximo desses valores. O volume líquido é informado como a média dos três valores (SURFER, 2002).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICO DOS DADOS BATIMÉTRICOS

A diferença entre as profundidades interpoladas, que no caso são as profundidades que compõem os MDSS, e as profundidades sondadas, que provém do levantamento batimétrico, obtém-se as discrepâncias conforme apresentado na Equação 18.

$$d_p = P_{Interpolada} - P_S \quad (18)$$

sendo d_p a discrepância entre a profundidade interpolada e a profundidade sondada; $P_{Interpolada}$ são as profundidades interpoladas que compõem os MDSS e; P_S são as profundidades sondadas que pertencem ao conjunto de observações das LV, é a soma da profundidade do leito submerso até o transdutor mais o *draft*.

A comparação entre os volumes - volume real e o volume calculado - tem-se a discrepância volumétrica (d_v), sendo representada pela Equação 19.

$$d_v = V_R - V_C \quad (19)$$

sendo (V_R) o Volume Real, ou seja, o volume conhecido do ambiente e; V_C o volume calculado por meio das Equações 13, 15 e 17.

O cálculo do desvio padrão amostral (s) das observações (x_i) pode ser feito através da Equação 22, que é a raiz quadrada da variância amostral (s^2). Obtém-se esta por através da Equação 21, que é a média do quadrado das discrepâncias. Determina-se a média (\bar{X}) através da soma das observações e dividindo-se pelo número de elementos deste conjunto (n) (Equação 20) (FERNANDES, 1999).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (20)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (21)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (22)$$

A Raiz da Média dos Quadrados (ingl. *Root Mean Square* - RMS) é uma quantidade que indica como um conjunto de observações desvia-se da média e pode ser calculada, conforme o *Federal Geographical Data Committee* (1998), através da Equação 23.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nd} (dc_i)^2}{nd}} \quad (23)$$

com:

nd = números de discrepâncias da amostra;

dc_i = discrepância entre a profundidade interpolada com as profundidades das Linhas de Verificação (P_{LV}).

2.5.1 Teste de Hipóteses

A literatura divide os testes de hipóteses em dois: testes paramétricos e testes não-paramétricos. Os modelos paramétricos pressupõem que os dados são provenientes de um tipo de distribuição de probabilidade, ou uma estimativa para o cálculo de sua estatística. Já os não-paramétricos não dependem que os dados sejam provenientes de um tipo de distribuição de probabilidade e as técnicas baseiam-se em *ranking* das observações, chamados de postos (REIS e RIBEIRO Jr, 2007).

Os testes de hipóteses usualmente trabalham com duas hipóteses: uma nula e a outra não nula. Então pode-se dizer, por exemplo, em caso de uma distribuição normal das discrepâncias, descreve-se essas duas hipóteses:

$$H_0: \bar{X} = 0, \text{ nula};$$

$$H_1: \bar{X} \neq 0, \text{ não nula.}$$

Uma das formas de verificar a normalidade das discrepâncias é através do teste de Shapiro e Wilk (1965). Na qual pode-se estabelecer duas alternativas de decisão:

H_0 : A amostra provém de uma população Normal;

H_1 : A amostra não provém de uma população Normal.

- se o valor-P da amostra for menor que o nível de significância de α (valor de $P < \alpha$), rejeita H_0 e aceita H_1 como verdadeira;
- se o valor-P da amostra for maior que o nível de significância de α (valor de $P > \alpha$), rejeita H_1 e aceita H_0 como verdadeira.

O valor de P, segundo Ionides et al. (2017), significa a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou superior que aquela observada em uma amostra.

2.5.1.1 Testes para dados paramétricos

No teste paramétrico, sob normalidade, mais usual em experimentos com um fator (um fenômeno), tem-se os procedimentos básicos de estatística de análise os testes *t-student*, o teste F, a análise de variância (ANOVA) e os Testes-z. Este por último, o teste-z, é indicado para amostras grandes (maiores ou iguais a 30). Para amostras menores, de acordo com Dalmolin (2002), se indica o uso do teste *t-student*. Quando os dados são não-paramétricos, usa-se o teste de Wilcoxon, substituindo o teste *t-student*.

A média das discrepâncias (\bar{X}) na hipótese nula é igual a zero, ou seja, a diferença da profundidade interpolada menos a profundidade observada nas linhas de verificação deve ser igual a zero. Caso exista diferença significativa, rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 .

Na regra de decisão, aplicada em dados paramétricos usando o *t-student*, tem-se:

- se $|t_{calculado}| \leq t_{tabelado}$, rejeita H_0 e aceita H_1 como verdadeira. Porque não há diferença significativa na média das discrepâncias das profundidades interpoladas;
- se $|t_{calculado}| > t_{tabelado}$, rejeita H_1 e aceita H_0 como verdadeira. Porque há diferença significativa na média das discrepâncias das profundidades interpoladas.

O valor de $t_{calculado}$ pode ser obtido aplicando-se a Equação (24). Onde μ é a média esperada, que é a profundidade da piscina no local do teste e; n o número de amostras.

$$t_{calculado} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \quad (24)$$

considerando σ o desvio padrão da amostra.

Admitindo-se um nível de significância α , obten-se um $t_{tabelado}$. No caso de uma distribuição monocaudal, tem-se o $t_{tabelado} = t_{n-1, \alpha}$. Sendo $n - 1$ o grau de liberdade e n o número de observações da amostra.

Na regra de decisão, aplicada em dados paramétricos usando o teste-z, tem-se:

- se $|z_{calculado}| \geq z_{tabelado}$, rejeita H_0 e aceita H_1 como verdadeira. Porque não há diferença significativa na média das discrepâncias das profundidades interpoladas;
- se $|z_{calculado}| < z_{tabelado}$, rejeita H_1 e aceita H_0 como verdadeira. Porque há diferença significativa na média das discrepâncias das profundidades interpoladas.

O valor de $z_{calculado}$ pode ser obtido aplicando-se a Equação (25). Onde μ é a média esperada – que é a profundidade da piscina no local do teste; e n o número de observações da amostra.

$$z_{calculado} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \quad (25)$$

considerando α o nível de significância e; σ o desvio padrão da amostra.

2.5.1.2 Testes para dados não-paramétricos

Dados com comportamento não-paramétricos, aplica-se o teste de Wilcoxon. O teste de Wilcoxon substitui o teste t-Student quando as amostras não satisfazem as exigências deste último. A tomada de decisão se aceita a hipótese nula ou não, pode ser feita através da análise do valor de P:

- se $P \leq \alpha$: A diferença entre as médias é significativamente diferente (rejeite H_0);

- se $P > \alpha$: A diferença entre as médias não é significativamente diferente (não deve rejeitar H_0).

O entendimento do Teste de Wilcoxon pode ser visto em detalhes nos trabalhos de Wilcoxon (1945) e Gibbons e Chakraborti (1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS


3.1 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS

Os equipamentos usados para o desenvolvimento desta pesquisa estão descritos a seguir.

✓ Echo Sounder South-SDE 28S

O ecobatímetro monofeixe *Echosounder South* modelo SDE 28S é composto por um transdutor que trabalha na frequência de 200kHz com alcance de 30 cm até 300 metros e abertura angular de 7°. A precisão para a determinação da profundidade é de $\pm 1\text{cm} \pm 0,1\%$ conforme a altura da lâmina d'água. O Quadro 1 apresenta as principais características do ecobatímetro monofeixe retiradas no manual do usuário South SDE-28S (s.d.).

QUADRO 1 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ECOBATÍMETRO SOUTH SDE 28S


ECOBATÍMETRO MONOFEIXE SOUTH SDE 28S		
	Frequência	200kHz
	Abertura Angular	7°
	Precisão	$\pm 1\text{cm} \pm 0,1\%$ Profundidade
	Velocidade do Som	1300 - 1700 m/s, resolução de 1m/s
	Alcance do Som	0,3 - 300m
	<i>Draft</i>	0 - 9,9 m

Fonte: Manual do usuário South SDE-28S (s.d.).

✓ Receptor GPS WS319 *High Gain* (Absoluto)

Um dos testes realizado para o desenvolvimento dessa dissertação foi o emprego do receptor e antena GPS WS3910, para posicionamento horizontal da embarcação através da técnica de posicionamento absoluta. O Quadro 2 apresenta as principais especificações desse equipamento conforme o manual do usuário fornecido pela *Wi-Sys Communication Inc.* (s.d.).

QUADRO 2 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GPS WS3910

WS3910-GPS RECEIVER		
	Frequência	1575,42 MHz
	Polarização	<i>Right Hand Circular</i>
	Cabo	3 metros
	Método	Absoluto
	Mensagem	GGA

Fonte: Manual do usuário Wi-Sys Communication Inc. (s.d.)

O manual do usuário não especifica a acurácia do equipamento, logo, nos testes realizados no modo estático, obteve-se um *Root Mean Square* (RMS) no eixo *East* (E) de 1,99 m; 3,361 no eixo *North* (N) e; 0,927 m na altitude geométrica (h). Com isso obteve-se um RMS-2D de 3,906 m e um RMS-3D de 4,015 m.

✓ Receptor GPS Leica 1200

O segundo teste foi realizado utilizando o receptor GPS Leica para posicionamento absoluto da embarcação e RTK para os testes na piscina. As especificações do equipamento, conforme o manual da Leica Geosystems (2007), estão presentes no Quadro 3.

QUADRO 3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR LEICA 1200

LEICA GPS 1200			
	MÉTODO DE POSICIONAMENTO - (PRECISÃO)		
	RELATIVO ESTÁTICO	RELATIVO CINEMÁTICO	RTK
	Horizontal: 5mm+0.5ppm Vertical: 10mm+0.5ppm	Horizontal: 10mm+1ppm Vertical: 20mm+1ppm	Horizontal: 10mm+1ppm Vertical: 20mm+1ppm
	SINTONIA DE SATÉLITES		
12 canais L1 12 canais L2	Código C/A e fase das ondas portadoras L1e L2		

Fonte: Manual do usuário Leica Geosystems (2007)

✓ Receptor GNSS Hiper SR

Empregou-se o receptor GNSS Hiper SR para rastrear os pontos de apoios através do método relativo estático. As principais características desse receptor foram retiradas do manual do usuário da empresa Topcon (2017), e podem ser observadas no Quadro 4.

QUADRO 4 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RECEPTOR GNSS HIPER SR


HIPER SR - GNSS RECEIVER				
	MÉTODO DE POSICIONAMENTO - (PRECISÃO)			
	L1	RELATIVO ESTÁTICO/EST. RÁPIDO	RELATIVO CINEMÁTICO/ RTK	DGPS
	L1/L2	Horizontal: 3mm+0.8ppm Vertical: 4mm+1ppm	Horizontal: 10mm+1ppm Vertical: 15mm+1ppm	H: 0.4 m V:0.6m
		Horizontal: 3mm+0.5ppm Vertical: 5mm+0.5ppm		
CANAIS				
GPS	L1 C/A, L1, L2P(Y), L2, L2C código e onda portadora			
GLONASS	L1 C/A, L1P, L2 C/A, L2P código e onda portadora			

Fonte: Manual do usuário Topcon (2017)

✓ Embarcação Marfim 6.0 CLX

O ecobatímetro foi instalado na embarcação *LeveFort Marfim 6*. Suas principais características, conforme apresentadas no Quadro 5, foram extraídas do portal da empresa Centro Náutico (2019).

QUADRO 5 - ESPECIFICAÇÕES DA EMBARCAÇÃO LEVEFORT MARFIM 6.0

LEVEFORT MARFIM 6.0		
	Comprimento	6 m
	Boca Máxima	1,68 m
	Calado	0,18 m
	Peso	256 kg
	Passageiros	5 pessoas
	Espessura do Casco	2 mm

Fonte: Informações retiradas do portal *online* da empresa Centro Náutico (2019)

• PROGRAMAS

A seguir estão listados os principais programas usados para o desenvolvimento dessa dissertação:

✓ QGis

O *software* QGIS, anteriormente conhecido como *Quantum GIS*, é um software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que permite a visualização, edição e análise de dados geoespaciais. Este programa foi usado para o planejamento das Linhas Regulares de Sondagens através do complemento QAD, que tem uma similaridade com as ferramentas de desenho presentes no *software AutoCad*. Empregou-se o QGIS, também, para visualizar, organizar e avaliar os dados batimétricos.

✓ *PowerNav*

O programa faz parte do conjunto do ecobatímetro South SDE 28S, ele é usado para sincronizar os dados de profundidade com as informações horizontais do receptor GNSS. Permite acompanhar, também, a navegação e orientação durante o levantamento batimétrico e o pós-processamento dos dados batimétricos tais como: correção de *spikes*, definição e correção do efeito *squat* e a fixação da variação do nível da água durante o LB.

✓ *Surfer*

O *Surfer* é um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela *Golden Software In.* que pode ser usado para confecção de mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos (LANDIM et al., 2002). Através deste foi possível gerar o MDSS por meio dos interpoladores KRG e IDW. A versão trial 16 foi usada nesta pesquisa para gerar os MDSS, calcular as discrepâncias e o volume dos MDSS.

✓ *Action Stat*

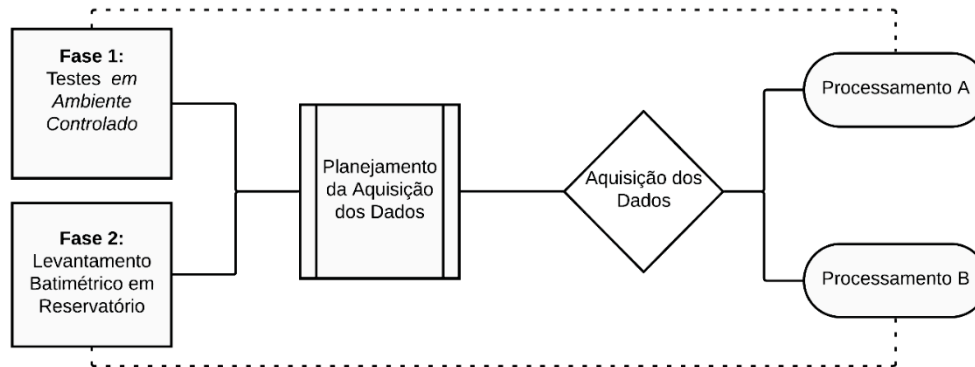
O *Action Stat* (2019) é uma extensão estatística que possui diversas ferramentas de estatística básica, análises de gráficos, análise de variância, modelos de regressão, testes de hipóteses paramétricos e não paramétricos, cálculo do tamanho da amostra, análise e previsão de séries temporais entre outros. Esta extensão é usada em planilhas do Excel; foi usada para análises de normalidade das discrepâncias, testes de hipóteses e construções de histogramas.

3.2 FASES DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS BATIMÉTRICOS

Duas abordagens foram definidas para a aquisição dos dados batimétricos, sendo que uma das abordagens teve como objetivo verificar a acurácia e o princípio de funcionamento do ecobatímetro descrito no Quadro 1. A outra, por sua vez, visava a realização de levantamentos batimétricos em um reservatório utilizando a técnica de posicionamento horizontal em tempo real pelo método absoluto. Como cada abordagem, dividida em fases, apresenta particularidades não semelhantes no processo de aquisição e análise dos dados batimétricos, foram realizadas duas metodologias diferentes para o processamento. Sendo definido Processamento A

para a Fase 1 e Processamento B para a Fase 2. O fluxograma da Figura 7 apresenta as duas fases que foram empregadas nesta pesquisa.

FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO BÁSICO DA DISSERTAÇÃO



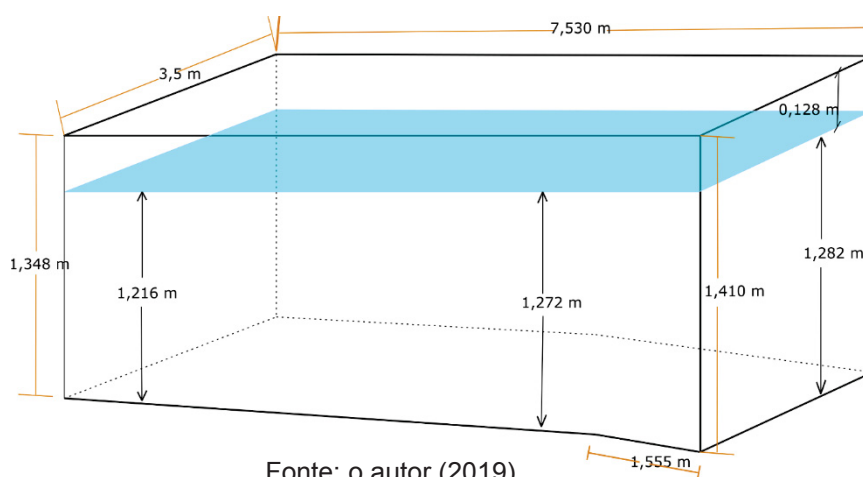
Fonte: o autor (2019)

3.2.1 Testes em Ambiente Controlado - Fase 1

3.2.1.1 Planejamento da Aquisição dos Dados Batimétricos

Os testes foram realizados em uma piscina cuja dimensões são conhecidas e estão indicadas na Figura 8. Observa-se que foi possível identificar as alturas da lâmina d'água durante o processo de sondagem e conseqüentemente a sua capacidade de reservação, possibilitando, dessa forma, verificar a diferença entre o Volume Real (V_R) da piscina e o Volume Calculado (V_C) através dos dados de profundidades sondadas.

FIGURA 8 - CROQUI DA PISCINA

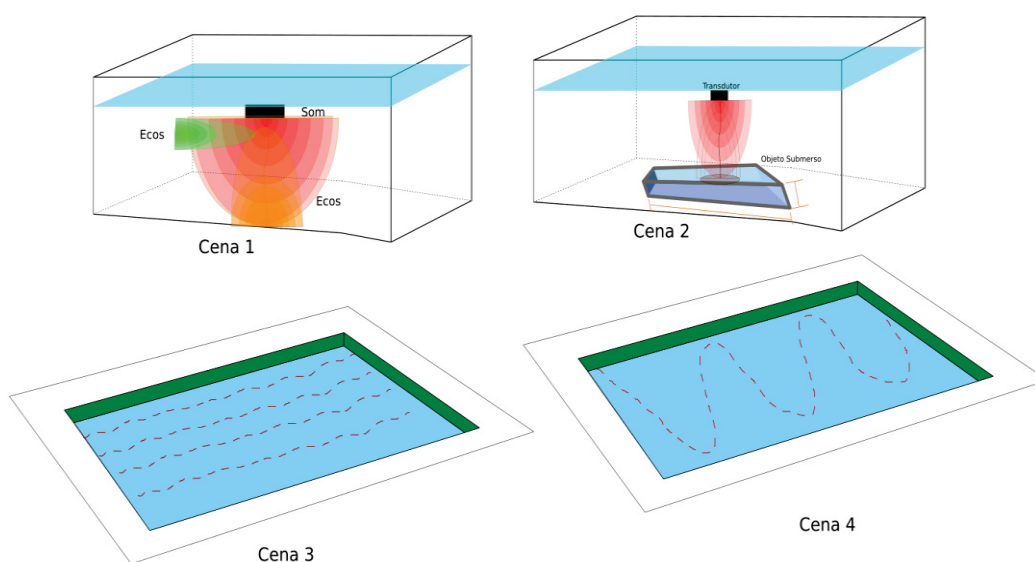


Fonte: o autor (2019)

Antes de realizar o LB da piscina, foram determinadas as coordenadas das feições definidoras de sua geometria, assim como pontos com coordenadas acuradas para a implantação da estação de referência do RTK. Para determiná-las, usou-se o receptor GNSS *Hiper SR* (Quadro 4) empregando a técnica de posicionamento Relativo Estático. A duração do rastreo foi de duas horas com intervalo de gravação de um segundo. A estação base empregada foi uma estação RBMC situada a cinco quilômetros da estação itinerante, a RBMC Curitiba - UFPR.

Os testes realizados na piscina foram divididos em quatro cenas distintas como pode ser observado na Figura 9.

FIGURA 9 - TESTES REALIZADOS NA PISCINA SEPARADOS POR CENAS



Fonte: O autor (2019).

Os testes da Cena 1 foram responsáveis pela aquisição de dados com finalidade de verificar os efeitos de borda durante o processo de aquisição dos dados batimétricos. Na prática, o transdutor foi posicionado em quatro posições próximas à borda da piscina: sendo a primeira posição a 50 cm; a segunda, a 30 cm; a terceira, a 15 cm e; a última, a 2 cm. Esta por último foi a posição mínima conseguida para posicionar o transdutor do ecobatímetro *South SDE 28S* próximo à borda. Essas posições foram escolhidas a partir do diâmetro da pegada do som no fundo da piscina, ou seja, como a abertura angular do feixe do ecobatímetro usado no teste era de 7° e a altura da lâmina d'água onde este foi posicionado era de 1,216 m, trigonometricamente, obteve-se um diâmetro de aproximadamente 15 cm.

Já os testes da Cena 2 visam identificar objetos submersos e a influência destes nos dados batimétricos. Nesse caso, objetos com dimensões conhecidas foram mergulhados na piscina e em seguida realizado o levantamento batimétrico. Como a profundidade da piscina é conhecida, a análise se deu por meio da alteração da profundidade devido à presença dos objetos.

Na Cena 3 e na Cena 4 foi efetuado um LB sem a presença de objetos submersos. Os dados destas cenas serviram para gerar o MDSS da piscina e em seguida o volume do modelo, o V_c . O LB da Cena 3 foi realizado com as LRS distribuídas paralelamente, já o da Cena 4, com os dados distribuídos em Zig-Zag.

3.2.1.2 Aquisição dos Dados Batimétricos e Processamento (A)

Foram empregados dois métodos para posicionar horizontalmente o equipamento sonar durante o processo de aquisição dos dados batimétricos. O primeiro levantamento usando o método absoluto com o receptor GPS WS3910 (Quadro 2) e o segundo com o método RTK por meio do equipamento GPS Leica 1200 (Quadro 3).

O processamento dos dados batimétricos pode ser feito, a princípio, no próprio ecobatímetro com o auxílio do *software PowerNav* para a retirada de dados espúrios, mas como os testes tinham como objetivo verificar a consistência dos dados batimétricos, estes, por sua vez, foram exportados sem serem previamente processados.

a) Análise dos dados batimétricos da Cena 1

Verificou-se a presença de *outliers* nos dados batimétricos da Cena 1 com auxílio da regra 3-sigmas definido por Pukelsheim (1994), onde foram considerados erros grosseiros as discrepâncias com valores maiores que três vezes o desvio padrão. As discrepâncias foram calculadas com o auxílio da Equação (18), o qual considerou-se a profundidade sondada (P_s), a profundidade obtida por meio do ecobatímetro, e a profundidade real (P_{real}), a profundidade mensurada com o auxílio de uma trena.

Foi computado a média das profundidades sondadas antes e depois de aplicar a regra 3-sigmas (3σ). As observações que apresentassem valores superiores que a

regra estabelecida, foram retiradas. Assim sendo, foi calculada a média das observações filtradas, comparada com a média de todas as profundidades sondadas e com a profundidade medida (P_{real}). Desse modo, verificou-se a acurácia do equipamento por meio da comparação das médias obtidas com a P_{real} e a influência da borda na precisão de aquisição dos dados batimétricos.

b) Análise dos dados batimétricos da Cena 2

A análise dos dados batimétricos advindos dos testes desta cena se deu, em primeira ordem, na verificação do ecograma durante o LB, onde foi averiguado a mudança do perfil batimétrico e o surgimento de falso-ecos (*spikes*) devido à presença dos objetos. Depois, foi verificada a variação da profundidade dos objetos em relação a profundidade destes advinda do MDSS da piscina. Essa verificação foi realizada da seguinte maneira:

- i. Mediu-se a altura de cada objeto (a);
- ii. Foi medido a altura da lâmina d'água em relação ao leito da piscina onde o objeto ficou posicionado (b);
- iii. Determinou-se a altura da lâmina d'água em relação ao objeto ($c = b - a$);
- iv. Com o MDSS já gerado, retirou-se amostras de profundidades interpoladas dos objetos no MDSS, obtendo assim, a profundidade do objeto no MDSS em relação a lâmina d'água (d) e;
- v. Finalmente calculado a diferença entre a altura da lâmina d'água em relação ao objeto medida com a profundidade obtida no MDSS ($e = d - c$).

c) Análise dos dados batimétricos da Cena 3 e Cena 4

Os dados batimétricos das Cenas 3 e 4 foram usados para gerar o MDSS e o volume calculado da piscina (V_C). Empregou-se os interpoladores KRG e o IDW para gerar o MDSS tanto para os dados obtidos com o posicionamento absoluto quanto para os dados obtidos por meio do RTK. A avaliação e a validação do modelo foram estabelecidas por meio de análises das discrepâncias obtidas pela comparação das profundidades interpoladas com as profundidades adquiridas por meio das LV (Equação 21). Realizou-se o cálculo da média (Equação 20), desvio padrão

(Equação 21) e RMS das discrepâncias (Equação 23), visando a análise estatística delas.

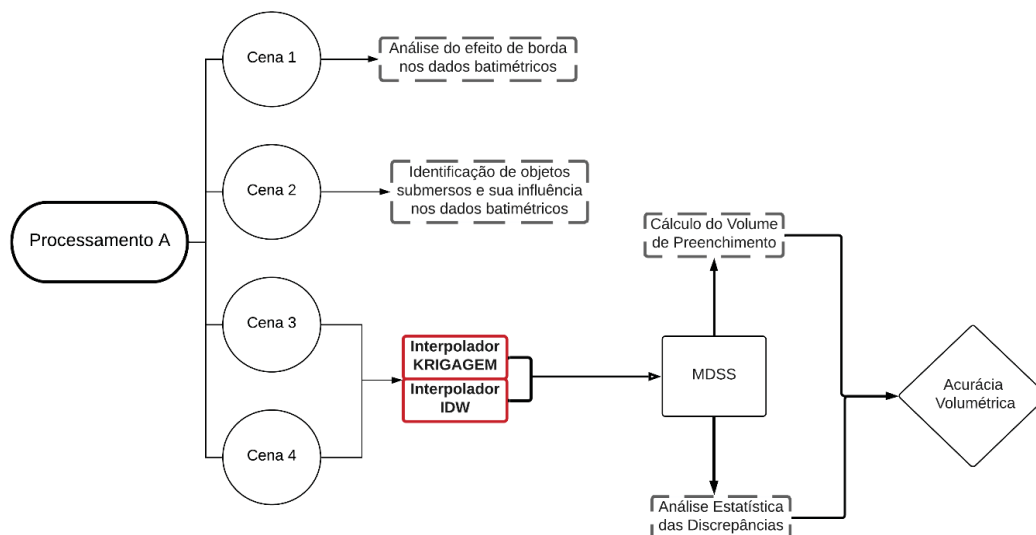
Foi verificado se a distribuição das discrepâncias apresentavam características de uma distribuição normal através do teste de Shapiro e Wilk (1965) a um nível de significância de 5%.

A análise da média das discrepâncias foi realizada com o teste *t-student*, sob normalidade, e o teste de Wilcoxon, para dados com comportamento não-paramétricos. A tomada de decisão se aceita a hipótese nula ou não, pode ser feita através da análise do valor de p. Um valor de p menor fornece uma evidência mais forte contra a hipótese nula. O nível de significância para os testes foi de 5%. O procedimento do teste *t-student* e o teste de Wilcoxon foram realizados por meio de uma planilha de Excel com a extensão *Action Stat*.

Além da análise realizada nas discrepâncias das profundidades (Equação 18), analisou-se, também, a discrepância volumétrica (Equação 19) de todos os modelos em relação ao V_R da piscina na época do levantamento.

A síntese do processamento pode ser vista na Figura 10. As análises do processamento servirão como base para o planejamento do LB a ser realizado no pré-reservatório do Passaúna. Os critérios estabelecidos foram: aproximação máxima da embarcação na borda do reservatório evitando o efeito de borda; a distribuição dos dados batimétricos; a precisão na determinação da capacidade de reserva do reservatório e a possível discrepância do volume real.

FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS OBTIDOS NOS TESTES REALIZADOS NA PISCINA



Fonte: o autor (2019)

3.2.2 Fase 2 – Levantamento Batimétrico do pré-reservatório

Nessa fase o LB foi realizado em uma área localizada no pré-reservatório do Passaúna. A área total do pré-reservatório é de aproximadamente 32 ha e 900 metros de comprimento.

Na sequência são apresentadas as características gerais da área de estudo, o planejamento realizado e, por fim, como foi estabelecido o processamento dos dados coletados.

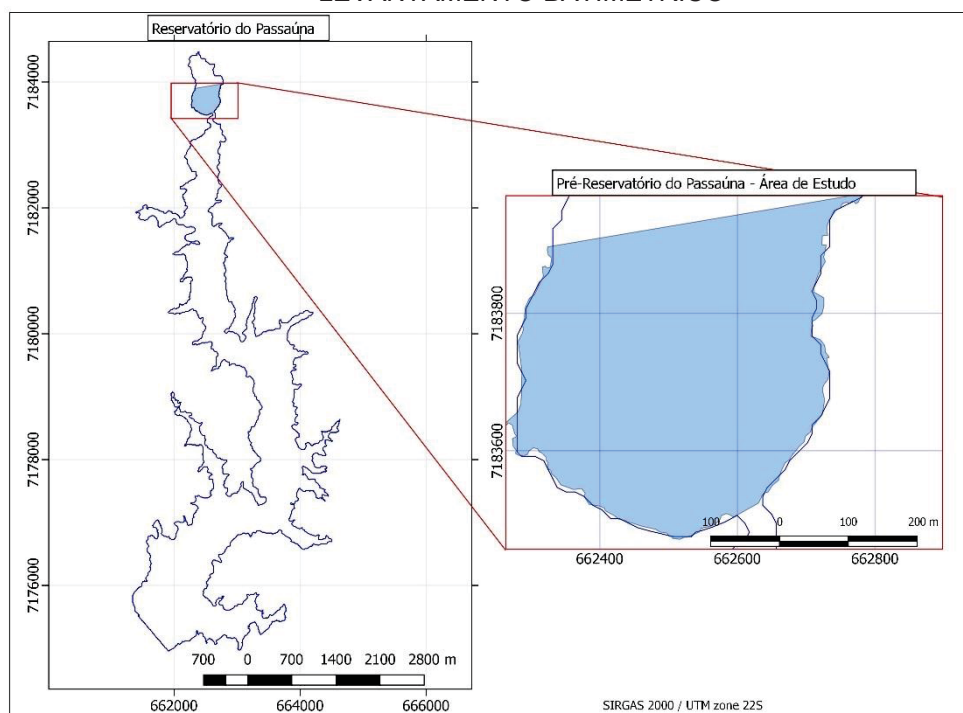
3.2.2.1 Características gerais da área de estudo

O rio Passaúna está localizado à margem direita da bacia do Alto Iguaçu e ocupa uma área de 145 km² com capacidade de geração de 2.000 L/s para o sistema de abastecimento público da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Praticamente toda a área é transposta pela BR 277 o que determina riscos de acidentes e pressão de ocupação urbana dos municípios de Curitiba e Campo Largo (SANEPAR, 1999). Segundo SUDERHSA (2002), ao longo da bacia, no ano de 1999, a população era de aproximadamente 72 mil habitantes. Embora existam alguns núcleos urbanos, a área da bacia é de uso predominante rural com atividades voltadas para o cultivo de batatas.

O Reservatório do Passaúna se encontra dentro da Bacia Hidrográfica do rio Passaúna, localizado no município de Araucária, próximo ao encontro com o rio Iguaçu. De acordo com Filho (2010), a lâmina da área alagada corresponde a 11 km², com o nível operacional normal a uma cota de 890 m. O nível médio de profundidade do reservatório é de 9,4 m, alcançando até 16 m em determinados locais; o tempo de residência da água é de aproximadamente dois anos considerando uma vazão de saída de 1,49 m³.s⁻¹.

O Pré-Reservatório do rio do Passaúna, conhecido como *Buffer*, tem coordenada central no sistema *Universal Transverse Mercator* (UTM) de 662600S e 7083800N, sendo esta aproximada. A escolha dessa área se deu pelas suas dimensões, visto que será possível fazer o LB com uma distribuição das linhas batimétricas mais próximas. A área se encontra a montante do reservatório do Passaúna, conforme mostrado na Figura 11.

FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ONDE FOI REALIZADO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

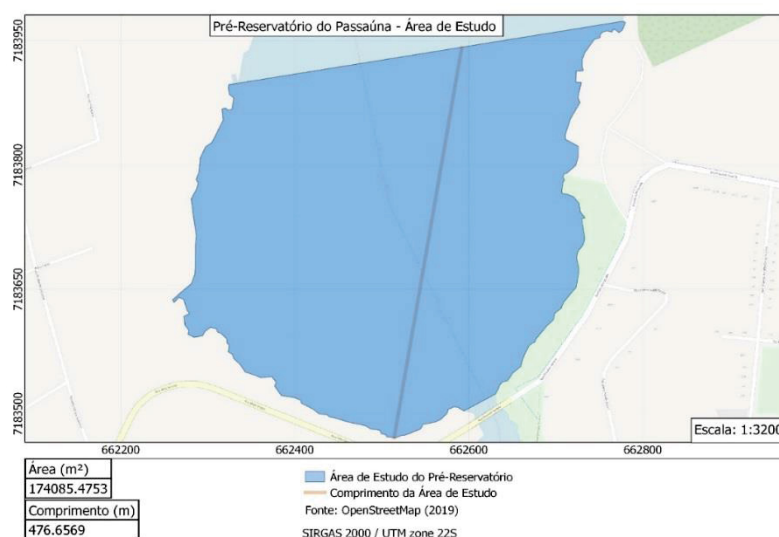


Fonte: Adaptado SUDERHSA (2002)

3.2.2.2 Planejamento do Levantamento Batimétrico

As orientações da ANA (2013) são as únicas que estabelecem diretrizes para LB em reservatórios. Assim sendo, o planejamento do LB no pré-reservatório se deu através dessas orientações, pois não há uma norma específica para reservatórios de captação de água. A Figura 12 apresenta parte da extensão do pré-reservatório em uma escala equivalente a 1:3200. De acordo com Carvalho et al. (2000), resumido na Tabela 6 (seção 2.2.6), pode-se classificar o pré-reservatório como pequeno e; médio, caso esteja representado em mapa na escala de 1:5000.

FIGURA 12 - ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Adaptado do OpenStreetMap (2019)

A área de estudo sendo classificada como Reservatório Pequeno, induz-se a utilização da Equação (6) para calcular o afastamento entre as LRS. Considerando a extensão desta de 476,6569 m e a área de 17,4085 ha, encontra-se uma equidistância aproximada de 428 m; dividindo pela extensão do pré-reservatório, tem-se no total de uma seção batimétrica para realizar o LB. Aplicando o método de Morris e Fan (1998) – Equação (7), calcula-se um total de 9 LRS; fazendo a divisão da extensão por esse valor, obteve-se um valor para as equidistância de 57 metros. A Tabela 7 sumariza os valores encontrados para cada método aplicado.

TABELA 7 - ESPAÇAMENTO ENTRE AS LRS E O NÚMERO DE SEÇÕES BATIMÉTRICAS

MÉTODO	EQUIDISTÂNCIA ENTRE AS LRS (m)	NÚMERO DE SEÇÕES BATIMÉTRICAS
CARVALHO et al. (2000)	20	24
ANA (2013)	428	1
MORRIS E FAN (1998)	57	9
PROPOSTO	15	32

Fonte: O autor (2019)

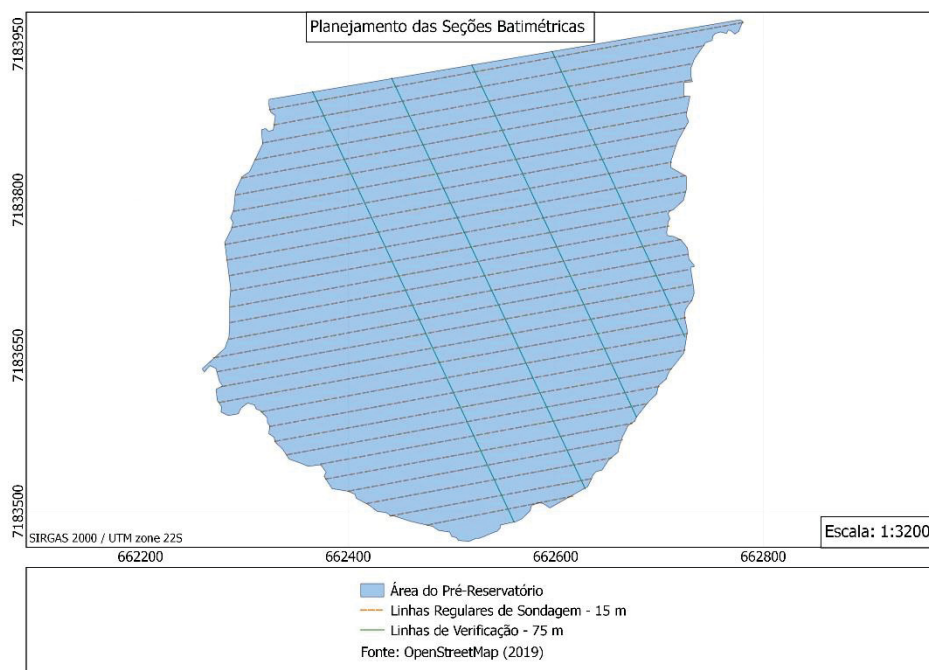
Ao considerar as equidistâncias recomendadas pela ANA (2013), Morris e Fan (1998) e Carvalho et al. (2000) – que estão apresentadas na Tabela 7 – propôs-se uma equidistância de 15 metros, cujo valor é menor comparado com as recomendações supracitadas. As questões de logística também contribuem com a escolha deste valor de espaçamento, sendo que, espaçamentos menores, exigiria mais tempo para realizar o LB e seria mais custoso no quesito econômico.

Em relação a equidistância entre as LV, foi definido um fator cinco (5) vezes maior do que o valor adotado para as LRS. A ANA (2013), como descrito no item 2.2.6, preconiza que o espaçamento entre as LV seja três vezes maior do que o valor adotado para as LRS. Seguindo esta orientação - como obteve-se um espaçamento de 428 entre as LRS (Tabela 7) - multiplicando-se este valor por três, obteve-se um afastamento de 1284 metros. No entanto, a área de estudo apresenta uma largura menor que esse valor (valor médio de 500 metros), seria possível realizar apenas uma seção batimétrica. Por outro lado, considerando o afastamento das LRS de 15 metros, triplicando esse valor, obteve-se um afastamento de 45 metros entre as LV. Dividindo este valor pela largura do pré-reservatório encontra-se um valor aproximado de 12 seções batimétricas. Em contrapartida, visando obter informações batimétricas nas

regiões laterais e central da área de estudo, definiu-se o afastamento entre as Linhas de Verificação de 75 m, obtendo quatro seções batimétricas.

O planejamento das LRS e das LV foi realizado com o auxílio do complemento QAD do *software* QGIS e o resultado pode ser visto na Figura 13.

FIGURA 13 - PLANEJAMENTO DAS LINHAS REGULARES DE SONDAGEM E DAS LINHAS DE VERIFICAÇÃO



Fonte: Adaptado do OpenStreetMap (2019)

3.2.2.3 Aquisição dos Dados Batimétricos

O ecobatímetro *South SDE 28S* (Quadro 1) foi usado para realizar o levantamento batimétrico sincronizado, num primeiro momento, com o receptor GPS absoluto, o GPS WS3910 (Quadro 2), na embarcação *LeveFort Marfim 6.9* (Quadro 4). Planejava-se efetuar outro LB nas mesmas LRS empregando-se o método de posicionamento RTK com equipamento *Leica 1200* (Quadro 3), mas houve um problema técnico no *link* de rádio do equipamento, inviabilizando o envio das correções diferenciais em tempo real. Em síntese, os levantamentos batimétricos foram realizados empregando método absoluto cinemático, sendo o primeiro com o receptor monofrequência (L1, dos satélites da constelação GPS) o WS3910, e o segundo com o *Leica 1200*, este de duas frequências (L1/L2, dos satélites das constelações GPS e GLONASS).

O *software PowerNav* foi o responsável pela sincronização dos dados de profundidade com o posicionamento horizontal da embarcação. Este, no entanto, não utiliza o tempo do sistema GPS para realizar o procedimento de sincronização, mas sim o tempo do relógio do computador do ecobatímetro.

Durante o LB foi necessário a determinação da velocidade da propagação do som na água, esta foi efetuada por meio do equipamento CTD. A checagem e as configurações avançadas do ecobatímetro tais como o ganho, a intensidade do pulso e o *threshold*, foram feitas pelo próprio equipamento de forma automática.

3.2.2.4 Processamento (B)

O *software PowerNav*, além de sincronizar os dados de profundidade e a posição da embarcação, possibilita fazer correções dos dados batimétricos através da edição do ecograma (*spike*), minimizar os erros devidos à variação da velocidade da embarcação (*squat*) e a correção de maré na época do levantamento.

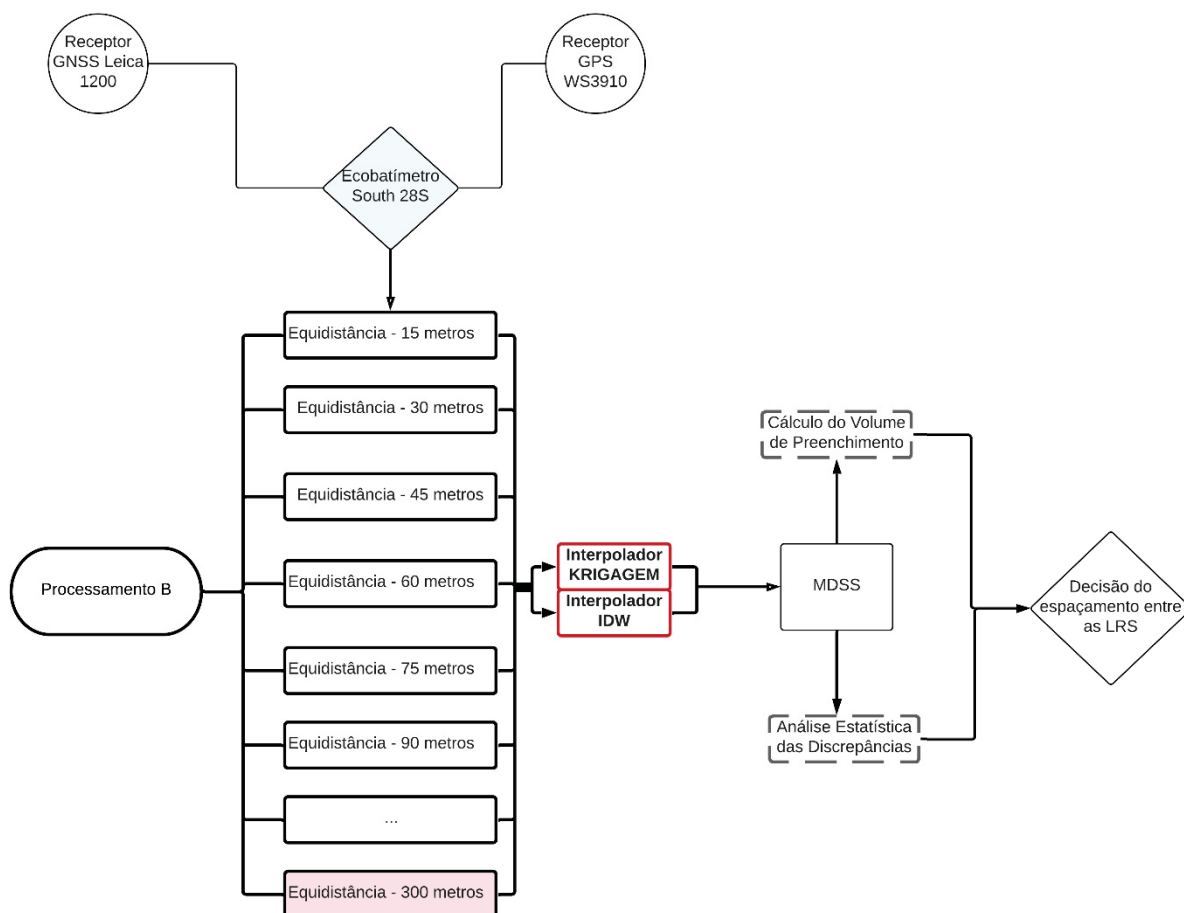
No processamento, foi reorganizado com espaçamentos múltiplos de 15 metros até alcançar uma distância de 300 metros. Diante disso, os dados foram importados e organizados conforme a afastamento entre as LRS de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 240, 255, 270, 285 e 300 metros. Optou-se por uma equidistância de até 300 metros devido esta estar mais próxima da equidistância calculada segundo as recomendações da ANA (2013) - TABELA 6. Em seguida, cada modelo foi interpolado com o método IDW e o KRG, gerando, assim, os seus respectivos MDSS.

Para cada MDSS foi determinado a discrepância, a qual foi obtida através da diferenciação das profundidades obtidas pelas LV com as profundidades interpoladas do MDSS. Em posse das discrepâncias, foram computados o RMS e a variação da média destes por meio dos testes estatísticos (seção 2.5), os quais foram escolhidos conforme o seu comportamento de normalidade – *t-student*, caso fosse paramétrico, ao contrário, o teste de Wilcoxon.

Calculou-se, também, para cada MDSS, o seu volume. Esse procedimento foi realizado no *software Surfer 16*, por meio da média dos três volumes obtidos aplicando-se as Equações 13, 15 e 17.

A Figura 14 apresenta o resumo de como foi executada a Fase 2 dessa dissertação. Na qual foram efetuadas dois LB empregando o ecobatímetro *South SDE 28S*, sendo um com o receptor GPS WS3910 e o outro com o Leica 1200. O espaçamento entre as LRS foi de 15 metros. E finalmente, foi feita a interpolação gerando os MDSS por meio do KRG e IDW, computando as discrepâncias e calculando o volume para cada modelo.

FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS DA SEGUNDA FASE



Fonte: o autor (2019)

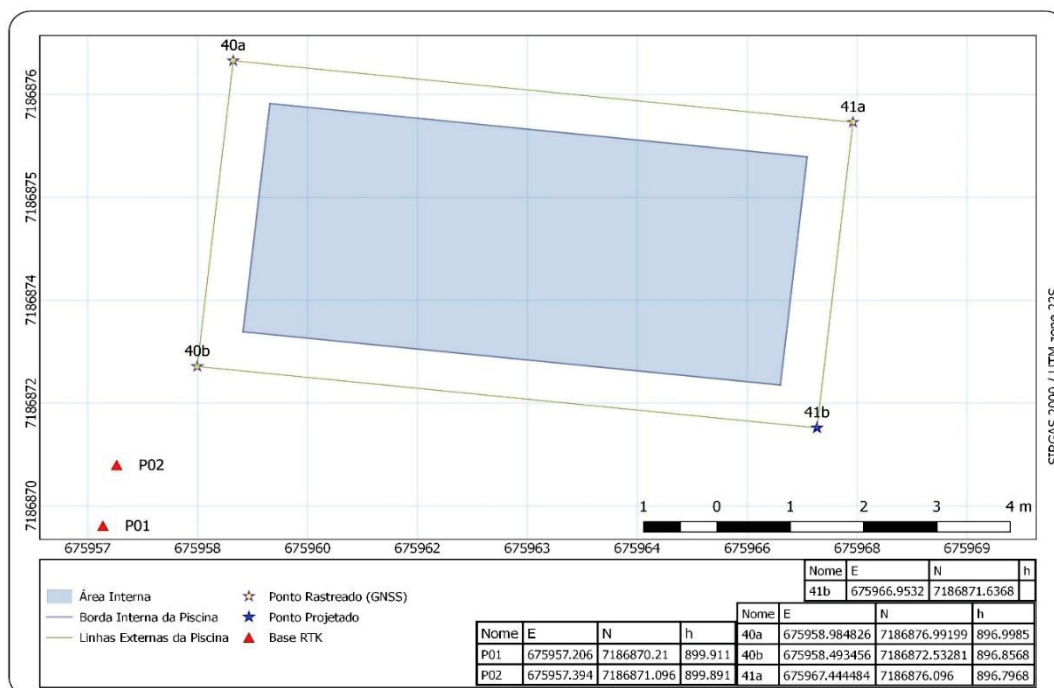
4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS OBTIDOS NA FASE 1

Foram rastreados na extremidade externa da piscina três pontos (41a, 40a e 40b) utilizando a técnica de posicionamento relativo estático, o ponto 41b foi projetado devido à impossibilidade de estacionar o receptor GNSS neste local.

Os marcos de apoio P01 e P02 foram rastreados próximo à piscina, tendo sido posteriormente empregados como base para a estação do sistema RTK. O resultado pode ser observado na Figura 15, onde são apresentadas as coordenadas na projeção UTM em Sirgas 2000.

FIGURA 15 - FEIÇÕES DA PISCINA E DEFINIÇÃO DOS MARCOS DE REFERÊNCIA PARA A BASE DO RTK



Fonte: o autor (2019)

4.1.1 Análise dos Testes Realizados na Cena 1

Como descrito na seção 3.2.1.1, o transdutor foi posicionado a uma distância de 50, 30, 15 e 2 centímetros da borda da piscina. Para cada posição foi calculada a média dos valores das profundidades antes e depois da aplicação da regra 3-sigmas (3σ), com isso, possibilitando averiguar a acurácia do equipamento por meio da comparação das Profundidades Sondadas (PS) em relação à Altura da Lâmina d'água (AL) onde o transdutor ficou posicionado. As PS são cotadas a partir da base inferior do transdutor mais o *draft*, que é medido a partir desta base até a lâmina d'água.

A Tabela 8 mostra a média das PS para cada posição antes de identificar observações maiores que 3σ . Observa-se que no teste realizado com o transdutor posicionado a uma distância de 50 centímetros da borda da piscina, a média das PS, a nível de $\alpha = 5\%$ (95%), ficou próxima a -1,216 metros (AL), com um valor médio de -1,222 metros. A média das PS a 30 cm da borda ficou, também, bem próxima da AL, porém não passou no teste-z. Para aceitar a hipótese nula H_0 , a condição é que o z-calculado seja menor que o z-crítico, com isso, apenas os dados obtidos a 50 cm da borda passaram neste teste.

- se $|z_{calculado}| \geq z_{tabelado}$, rejeita H_0 e aceita H_1 como verdadeira. As PS são diferentes -1,216 m de profundidade (Média \neq -1,216m)
- se $|z_{calculado}| < z_{tabelado}$, rejeita H_1 e aceita H_0 como verdadeira. As PS têm -1,216 m de profundidade (Média = -1,216m)

TABELA 8 - MÉDIA DAS PROFUNDIDADES SONDADAS

ANÁLISE DA MÉDIA DAS PS				
DISTÂNCIA DA BORDA (cm)	50	30	15	2
NÚMERO DE OBSERVAÇÕES	175	175	175	175
ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA (AL) (m)	-1,216	-1,216	-1,216	-1,216
MÉDIA DAS PROF. SONDADAS (PS) (m)	-1,222	-1,208	-1,199	-1,193
Z - CRÍTICO [$\alpha = 5\%$]	1,96	1,96	1,96	1,96
Z - CALCULADO	-0,985	5,974	65,604	61,755
DECISÃO	Aceita H_0	Rejeita H_0	Rejeita H_0	Rejeita H_0

Fonte: o autor (2019)

A acurácia foi determinada através da comparação das profundidades sondadas com a altura da lâmina d'água onde o transdutor ficou estacionado. No instante em que o transdutor ficou parado a uma distância de 50 cm da borda, conforme apresentado na Tabela 9, a diferença entre a PS e AL foi de 0,006 metros.

Quando o transdutor foi alocado para uma posição mais próxima da borda, as acurácias das PS foram se deteriorando, chegando a 0,023 cm quando este ficou parado a 2 cm da borda.

TABELA 9 - ACURÁCIA DAS PS SEM APLICAR A REGRA 3-SIGMAS

ACURÁCIA DAS PS ANTES DE APLICAR A REGRA 3-SIGMAS

DISTÂNCIA DA BORDA (cm)	50	30	15	2
ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA (AL) (m)	-1,216	-1,216	-1,216	-1,216
MÉDIA DAS PROF. SONDADAS (PS) (m)	-1,222	-1,208	-1,199	-1,193
ACURÁCIA [PS - AL] (m)	0,006	0,008	0,017	0,023

Fonte: o autor (2019)

Separando as observações maiores que 3σ , é possível notar que quando o transdutor ficou a uma distância de dois centímetros da borda, 173 observações ultrapassaram o valor de 3σ (Tabela 10). É bom ressaltar que a análise 3σ foi realizada com a discrepância obtida com a diferença da PS e a AL observada na posição onde o transdutor ficou parado; foi calculado o desvio padrão amostral (sigma, σ) e esse valor foi multiplicado por três (3σ). Quando o transdutor ficou parado a uma distância de 50 cm da borda apenas uma (1) observação ficou acima de 3σ .

TABELA 10 - ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS MENORES QUE 3-SIGMAS

ANÁLISE DAS PROFUNDIDADES COM DISCREPÂNCIAS MENORES QUE 3 - SIGMAS

DISTÂNCIA DA BORDA (cm)	50	30	15	2
Nº DE OBSERVAÇÕES	175	175	175	175
ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA (AL) (m)	-1,216	-1,216	-1,216	-1,216
MÉDIA DAS PS (m)	-1,216034	-1,2047	-1,2100	-1,2100
DESVIO PADRÃO (σ)	0,078	0,017	0,003	0,005
3 - SIGMAS (3σ)	0,235	0,051	0,010	0,015
Nº DE PS > 3σ	1	10	170	173
ACURÁCIA (m)	-0,0000345	0,0113	0,0060	0,0060

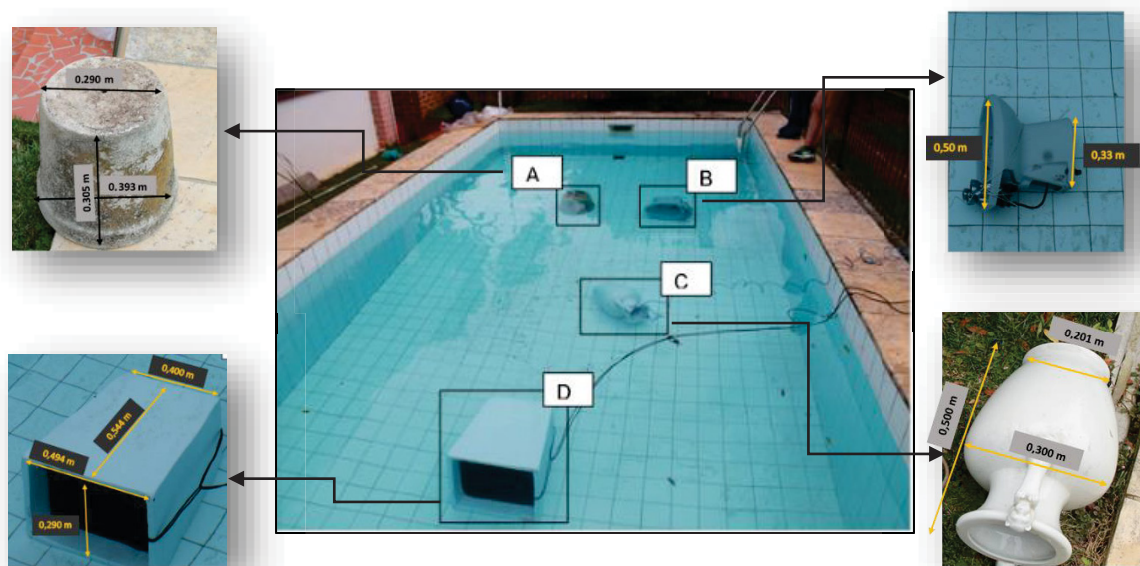
Fonte: o autor (2019)

Considerando a AL (AL = -1,216 m) onde o transdutor foi posicionado e o ângulo de abertura do seu feixe de 7° , o diâmetro do *footprint* no fundo da piscina é de aproximadamente 15 cm. Logo, quando o transdutor ficou posicionado a uma distância de 50 cm da borda, uma observação ficou acima de 3σ e, ao retirá-la, a média das PS foi de -1,216034 m e obteve-se uma acurácia de -0,0000345 m. A uma distância de 30 cm, apenas 165 das 175 observações foram consideradas para determinar a média das PS; a 15 cm da borda, apenas 5 observações e; a dois centímetros da borda, duas observações foram consideradas.

4.1.2 Análise dos Testes Realizados na Cena 2

Quatro objetos com dimensões conhecidas foram posicionados no fundo da piscina (Figura 16), sendo que os objetos A e D são de amianto e os objetos B é de porcelana. O LB foi realizado com o ecobatímetro *South SDE 28S* sincronizado com o receptor *WS3910*.

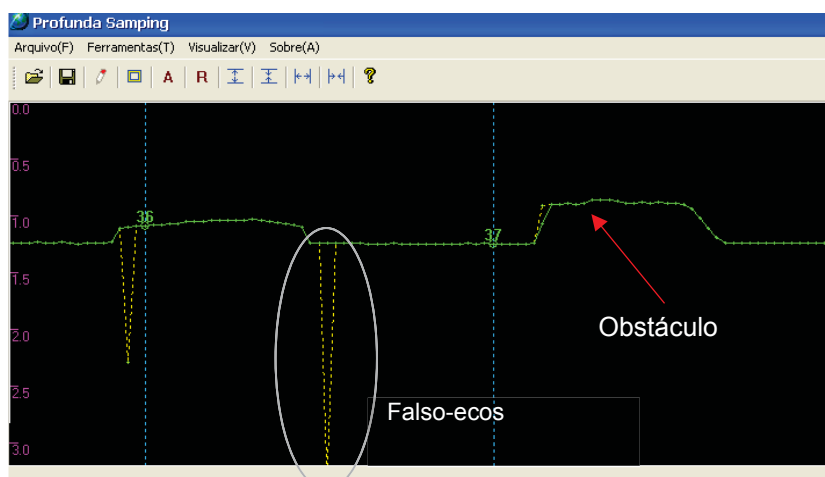
FIGURA 16 - OBJETOS USADOS NO TESTE DA CENA 2



Fonte: o autor (2019)

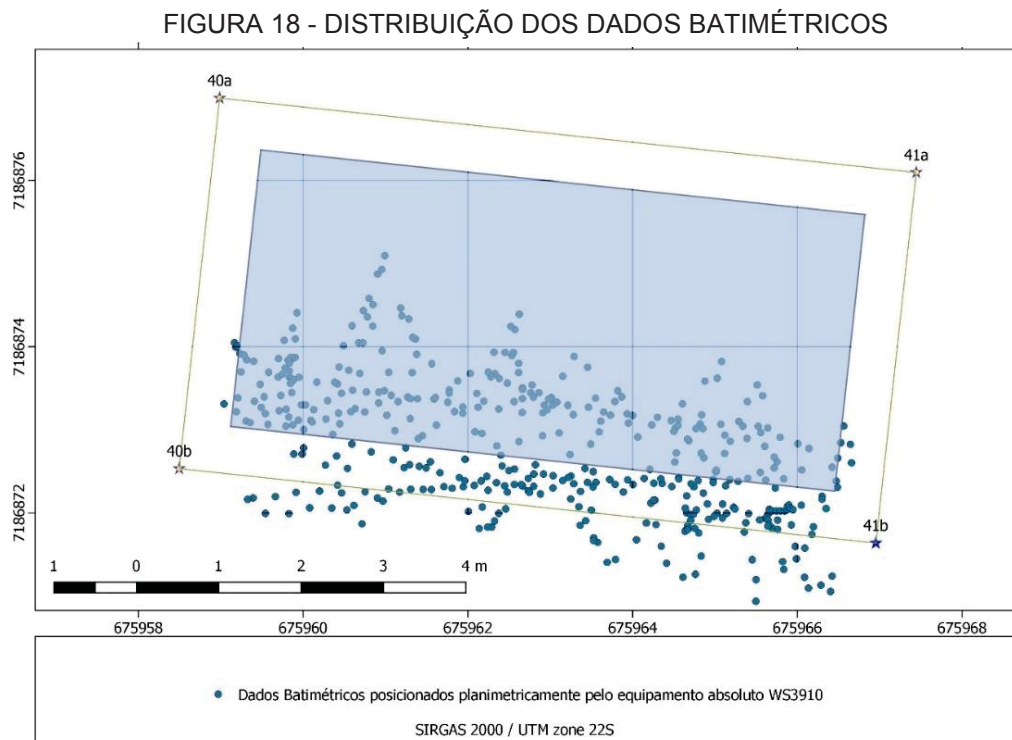
Durante o LB tomou-se cuidado em passar com o transdutor acima dos objetos de modo que estes pudessem ser identificados no ecograma do *software PowerNav* do equipamento sonar. Foi possível identificar, como pode ser visto na Figura 17, a variação da profundidade, identificação dos obstáculos e a presença de falsos-ecos. Esses foram retirados durante o pré-processamento no próprio *software* do ecobatímetro.

FIGURA 17 - ECOGRÁFICO DE SONDAGEM DO SOFTWARE POWERNAV



Fonte: o autor (2019)

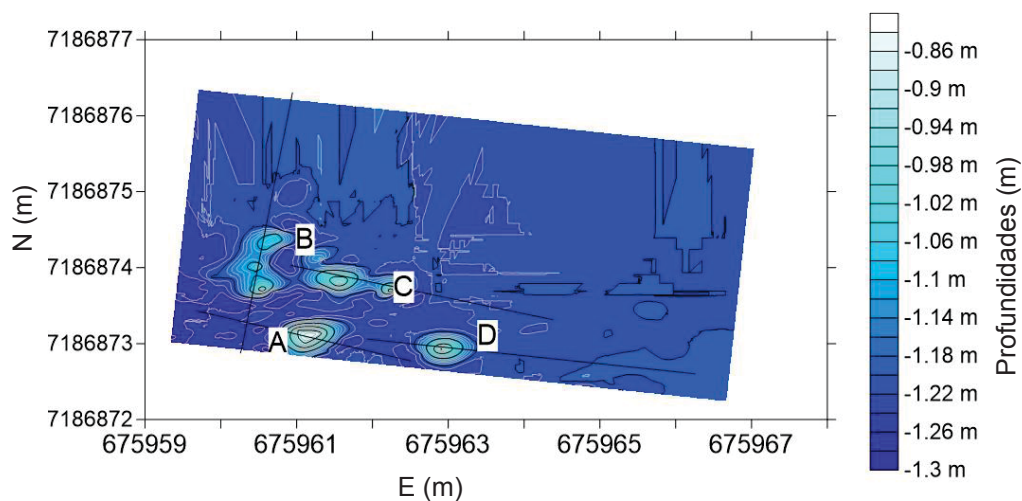
A Figura 18 apresenta a posição horizontal dos dados de profundidade. Consta-se a translação da posição das profundidades quando foi empregado o receptor WS3910, o que está de acordo com o esperado e indicado na seção 3.2.



Fonte: o autor (2019)

Já a Figura 19 apresenta o MDSS gerado a partir dos dados apresentados na Figura 18. As linhas pretas na figura são as seções dos perfis apresentados na Figura 20.

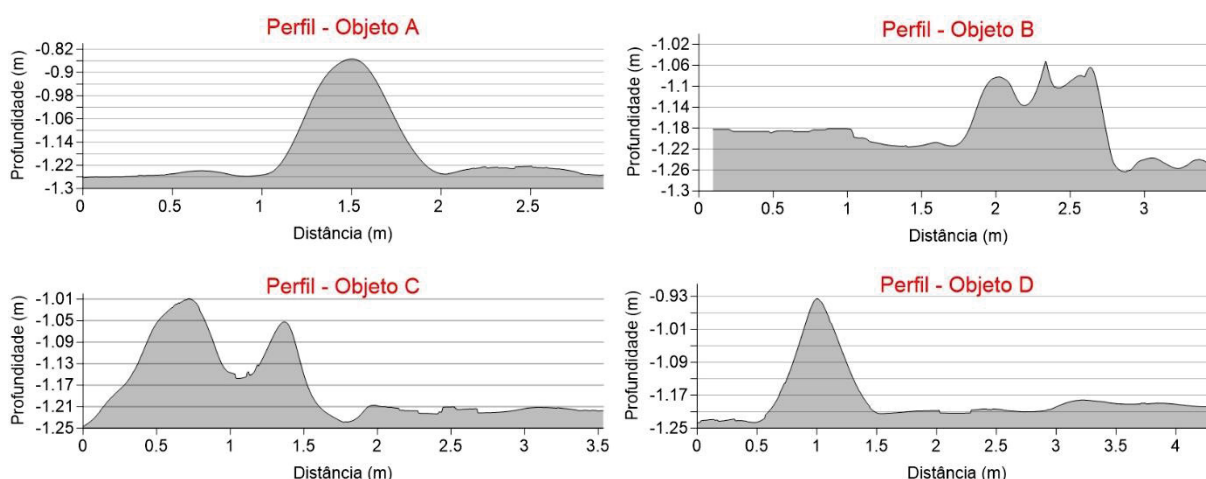
FIGURA 19 - MODELO DIGITAL DA SUPERFÍCIE SUBMERSA DA PISCINA COM A PRESENÇA DE OBJETOS IMERSOS



Fonte: o autor (2019)

Observa-se que é possível identificar, por meio da Figura 19, a variação da profundidade conforme a localização de cada objeto. Como os dados são obtidos pontualmente, após o processo de interpolação percebe-se que o formato dos objetos não é preservado, fato este observado também nos perfis gerados e apresentados na Figura 20.

FIGURA 20 - PERFIS DO MDSS DA PISCINA COM A PRESENÇA DOS OBJETOS SUBMERSOS



Fonte: o autor (2019)

No intuito de verificar a altura do objeto no MDSS, foi comparada a altura real de cada objeto com a altura obtida no modelo digital. A altura de cada objeto no MDSS foi computada através da média dos valores retirados no modelo. A Tabela 11 apresenta AL onde o objeto foi posicionado; a altura do objeto; a média das profundidades interpoladas retiradas do MDSS e; a altura do objeto no MDSS, que foi obtido pela diferença entre a profundidade real e a profundidade no MDSS.

TABELA 11 - PROFUNDIDADE DOS OBJETOS NO MDSS DA PISCINA

OBJETO	A	B	C	D
ALTURA REAL DO OBJETO (a) (m)	-0,3050	-0,3440	-0,3000	-0,2900
ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA ATÉ O LEITO DA PISCINA (b) (m)	-1,1990	-1,1990	-1,1810	-1,1690
ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA ATÉ O OBJETO (c = b-a) (m)	-0,8940	-0,8550	-0,8810	-0,8790
ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA ATÉ O OBJETO NO MDSS (d) (m)	-0,8873	-0,9811	-0,9589	-0,9510
DIFERENÇA DAS ALTURAS DOS OBJETOS (e = d-c) (m)	0,0067	-0,1261	-0,0779	-0,0720

Fonte: o autor (2019)

A altura real do objeto apresentado na Tabela 11 corresponde ao lado mais extenso de cada objeto apresentado na Figura 16. Ao observar a diferença das profundidades dos objetos, conforme apresentado na última linha dessa mesma

tabela, nota-se que a altura da lâmina d'água no MDSS do objeto A é 0,0067 m menor do que a sua altura obtida por meio da trena; o objeto B teve uma diferença de 0,1261 m, esta diferença pode estar associada ao formato não uniforme do objeto; os objetos C e D tiveram uma diferença de 0,0779 m e 0,0720 m , respectivamente.

Para verificar a acurácia do MDSS da Figura 19, foi comparado a altura da lâmina d'água (AL) medida com a trena com a altura extraída do modelo. A AL obtida com a trena no lado mais fundo da piscina foi de -1,1990 m; no meio, o valor foi de -1,1810 m e; no lado mais raso, foi de -1,1690 m². As AL no MDSS são resultado da média de 20 observações extraídas do modelo; nota-se, conforme a Tabela 12, que estas apresentaram um acréscimo médio de 0,03 m comparado com as AL obtidas com a trena.

TABELA 12 - ACURÁCIA DO MDSS DA PISCINA PARA OS TESTES DA CENA 2

POSIÇÃO NA PISCINA	(AL) MEDIDA COM A TRENA [i]	(AL) NO MDSS [ii]	ACURÁCIA [iii=ii-i]
LADO MAIS RASO	-1,1690 m	-1,2001 m	-0,0311 m
LADO MAIS PROFUNDO	-1,1990 m	-1,2342 m	-0,0352 m
REGIÃO CENTRAL	-1,1810 m	-1,1965 m	-0,0311 m

Fonte: o autor (2019)

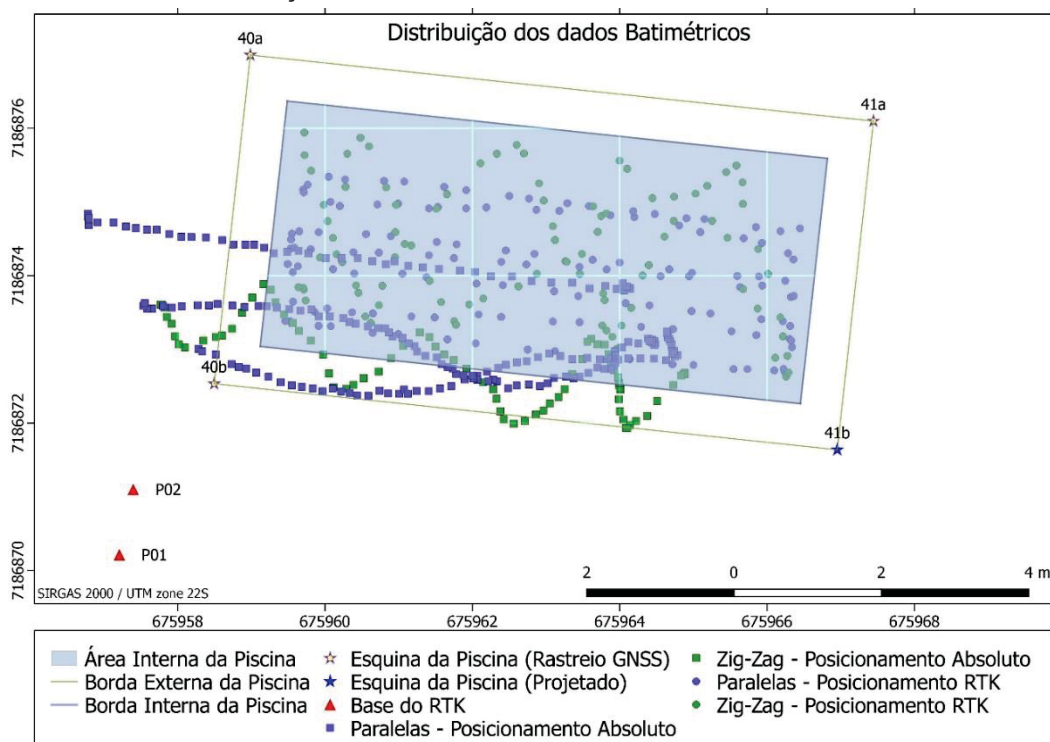
Esse acréscimo de 0,03 metros pode ser devido ao erro na medição do *draft*, mas de qualquer forma, foi possível identificar os objetos e, principalmente, a determinação da sua posição em relação à altura da lâmina d'água da piscina.

² As AL observadas nos testes da Cena 2 são diferentes das AL dos testes da Cena 1, Cena 3 e Cena 4, que estão apresentadas no Figura 8, pois os testes da primeira (Cena 2) foram realizados em época diferente destes últimos (Cenas 1, 3 e 4).

4.1.3 Análise dos Testes Realizados na Cena 3 e Cena 4

Os dados batimétricos obtidos nos testes das Cenas 3 e 4 estão espacialmente distribuídos na Figura 21. Relembra-se que os testes foram realizados empregando posicionamento absoluto com o receptor WS3190 e o posicionamento RTK com o Leica 1200. As LRS foram distribuídas paralelamente e em Zig-Zag, conforme esquematizado na Figura 9.

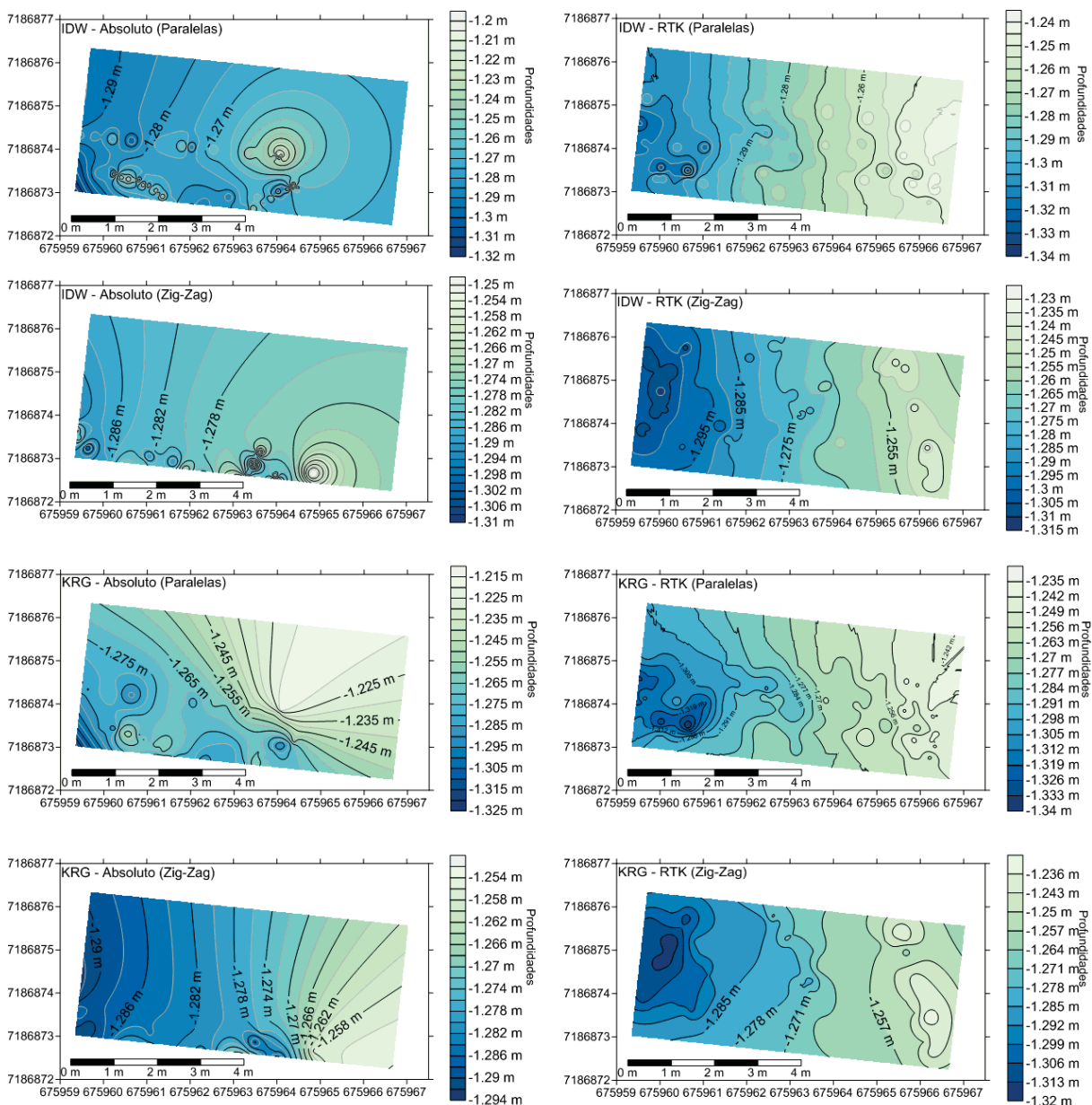
FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS OBTIDOS NAS CENAS 3 E 4



Fonte: o autor (2019)

Para cada teste foi gerado um MDSS usando o interpolador KRG e o IDW, gerando no total oito MDSS. Os resultados podem ser observados Figura 22.

FIGURA 22 - MODELOS GERADOS COM OS INTERPOLADORES KRG E O IDW A PARTIR DOS DADOS BATIMÉTRICOS ADQUIRIDOS NOS TESTES DAS CENAS 3 E 4



Projeção dos Mapas: WGS84 UTM Zona 22S

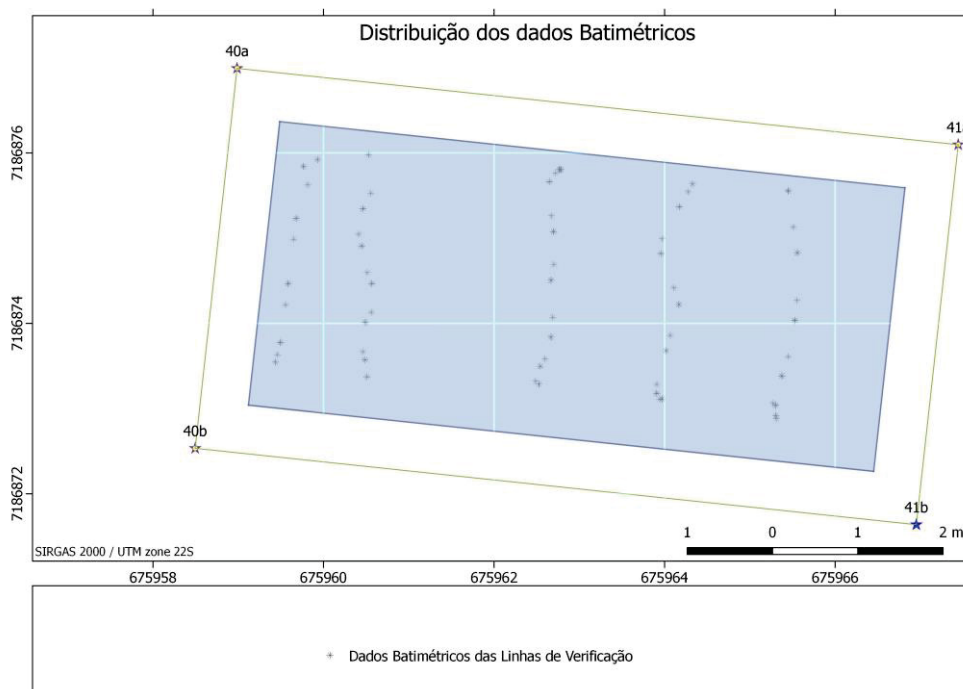
Fonte: o autor (2019)

A piscina, onde foi realizado o LB, apresenta um pequeno decaimento, detalhe este apresentado na Figura 8. Percebe-se, por meio da Figura 21, que os dados batimétricos posicionados com o WS-3910 (absoluto) apresentaram uma translação na sua posição planimétrica. Assim sendo, ao observar os MDSS apresentados na Figura 22, nota-se que os modelos gerados com os dados batimétricos posicionados

com equipamento do RTK tiveram uma melhor representação da variação da profundidade da piscina.

Após gerar os MDSS, o próximo passo foi a determinação das discrepâncias das profundidades interpoladas em relação as profundidades presentes nas LV. Os dados das LV (Figura 23) não foram usados durante o processo de interpolação, como cada profundidade está associada a uma coordenada planimétrica, esta coordenada foi usada para encontrar a profundidade interpolada em cada modelo e, através dessa profundidade, fez-se a diferença entre a profundidade das LV com a profundidade interpolada.

FIGURA 23 - DADOS BATIMÉTRICOS DAS LV USADOS PARA DETERMINAR O RESÍDUO DE CADA MDSS GERADO



Fonte: o autor (2019)

A partir das discrepâncias, foi verificado se a distribuição era paramétrica ou não-paramétrica por meio do teste de *Shapiro Wilk*. Foi considerado um nível de significância de 95% ($\alpha = 5\%$) e *P-values* maiores que $\alpha = 5\%$. A hipótese nula é aceita e as discrepâncias apresentam uma distribuição paramétrica. Porém, como observado na Tabela 13, todas as discrepâncias apresentaram uma distribuição não-paramétrica.

TABELA 13 - TESTE DE NORMALIDADE DAS DISCREPÂNCIAS

P-VALUE - TESTE DE NORMALIDADE ($\alpha = 5\%$) -> SHAPIRO-WILK				
	ABSOLUTO		RTK	
	PARALELAS	ZIG-ZAG	PARALELAS	ZIG-ZAG
KRG	<<0%	0,13%	<<0%	0,42%
IDW	4,07%	1,51%	0,45%	0,02%

Fonte: o autor (2019)

Logo, a partir dos resultados da Tabela 13, fez-se o teste da média das discrepâncias por meio do teste de *Wilcoxon*. Nota-se que apenas três MDSS passaram no teste, cujo valores estão nas células verdes da Tabela 14. O [MDSS-Absoluto-Zig-Zag-IDW], por exemplo, obteve um valor de P equivalente a 85,19%.

TABELA 14 - TESTE DE SIGNIFICÂNCIA DA MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS DOS MDSS DA PISCINA

TESTE DA MÉDIA ($\alpha = 5\%$) - P-VALUE				
	ABSOLUTO		RTK	
	PARALELAS	ZIG-ZAG	PARALELAS	ZIG-ZAG
KRG	<<0%	14,07%	20%	2,68%
IDW	0,01%	85,19%	0,01%	0,94%

Fonte: o autor (2019)

Apesar de três MDSS cuja média das discrepâncias esteja próxima a zero, ao calcular o RMS, outros modelos apresentaram valores centimétricos como apresentado na Tabela 15. O maior RMS pode ser visto no modelo [MDSS- Absoluto-Paralelas-KRG], com um valor de 2,87 cm. Os modelos [MDSS-RTK-Zig-Zag- KRG] e o [MDSS-RTK-Zig-Zag-IDW] apresentaram um RMS de 0,71 cm e 0,72 cm, respectivamente.

TABELA 15 - RMS DAS DISCREPÂNCIAS GERADAS COM OS MDSS DO TESTE DAS CENAS 3 e 4

RMS (cm)				
	ABSOLUTO		RTK	
	PARALELAS	ZIG-ZAG	PARALELAS	ZIG-ZAG
KRG	2,8714	1,3948	0,9342	0,7110
IDW	1,6816	1,7315	0,8082	0,7240

Fonte: o autor (2019)

O passo seguinte foi determinar o volume de cada MDSS comparando-o com o volume real da piscina. Esse volume na época da realização do teste era de

32,917 m³. Os volumes calculados dos MDSS estão apresentados na Tabela 16. Nota-se que os volumes dos MDSS ficaram menores do que o volume real da piscina.

TABELA 16 - VOLUME DOS MDSS DA PISCINA

	VOLUME CALCULADO (m ³)			
	ABSOLUTO		RTK	
	PARALELAS	ZIG-ZAG	PARALELAS	ZIG-ZAG
KRG	30,885	31,460	31,461	31,406
IDW	31,388	31,540	31,522	31,427
VOLUME REAL	32,428 m ³			

Fonte: o autor (2019)

A Tabela 17 apresenta a diferença entre o volume calculado e o volume real, cujo valores estão em porcentagem. Observa-se que a maior diferença foi obtida no modelo [MDSS-KRG-Paralelas-Absoluto] com um valor de -4,76%, o menor valor de -2,74% foi computado com o modelo [MDSS-Absoluto-Zig-Zag-IDW]. No geral, a diferença entre o volume real e o volume calculado por meio dos MDSS não ultrapassou -4,76%. No entanto, ao verificar o seu *P-value* na Tabela 14, que ficou muito abaixo de zero, e mesmo se diminuísse o nível de significância, não passaria no teste. Com isso, a discrepância -4,76% foi considerada como fator limitante para validar os resíduos volumétricos obtidos nos testes realizados na segunda fase dessa dissertação.

Em relação a disposição dos dados batimétricos, sendo paralela ou em Zig-Zag, nota-se que quando os dados foram posicionados com sistema RTK e distribuídos paralelamente e usando o KRG, obteve-se uma diferença volumétrica de -2,98% e; ao usar o IDW para interpolá-los, obteve-se uma diferença de -2,79%. Já com os dados posicionados horizontalmente com o método absoluto, a diferença volumétrica foi maior quando os dados ficaram dispostos em linhas paralelas, onde obteve-se uma diferença de -4,76% com os dados interpolados com o KRG e -2,95%, estes dispostos em linhas Zig-Zag.

TABELA 17 - VARIAÇÃO DO VOLUME DOS MDSS

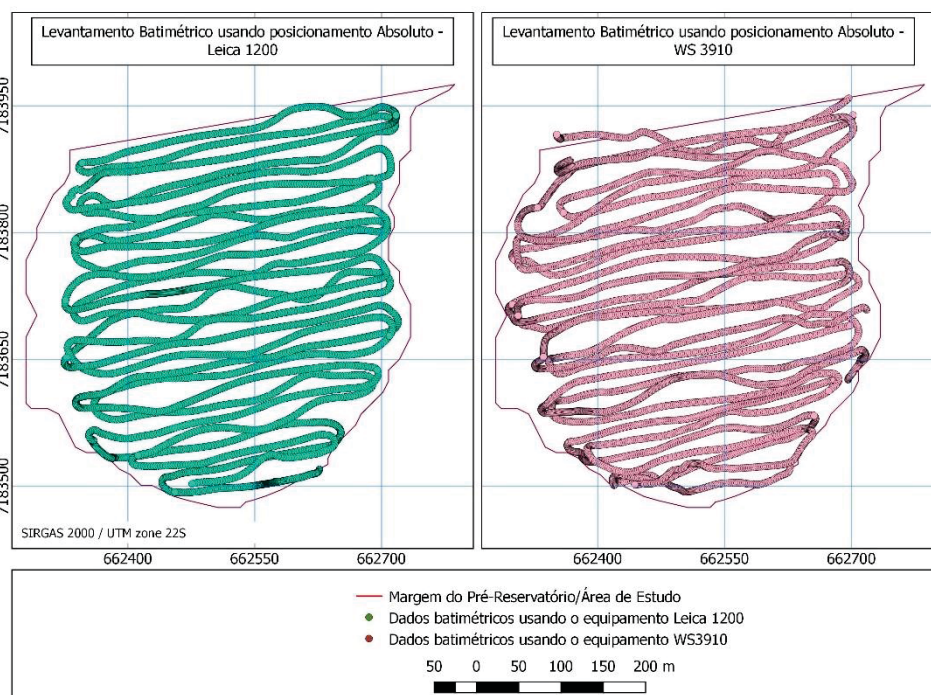
	COMPARAÇÃO VOLUME CALCULADO E O VOLUME REAL (%)			
	ABSOLUTO		RTK	
	PARALELAS	ZIG-ZAG	PARALELAS	ZIG-ZAG
KRG	-4,76%	-2,98%	-2,97%	-3,15%
IDW	-3,21%	-2,74%	-2,79%	-3,09%

Fonte: o autor (2019)

4.2 RESULTADOS OBTIDOS NA FASE 2

A segunda fase (seção 4.2.2) desta pesquisa se enquadra no LB em reservatório. O local escolhido para realização do LB se localiza no pré-reservatório do Passaúna. Os dados de profundidade foram obtidos com o emprego do ecobatímetro monofeixe *South SDE 28S*, a sonda foi posicionada horizontalmente, no primeiro instante, com o receptor GPS de única frequência o WS-3910 e, no segundo LB, com o equipamento GNSS de duas frequências o Leica 1200. Ambos os posicionadores planimétricos foram usados empregando o método absoluto cinemático de posicionamento. O resultado da distribuição espacial dos dados batimétricos dos dois LB realizados no pré-reservatório pode ser visto na Figura 24.

FIGURA 24 - DADOS BATIMÉTRICOS DO LB REALIZADO NO PRÉ-RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA

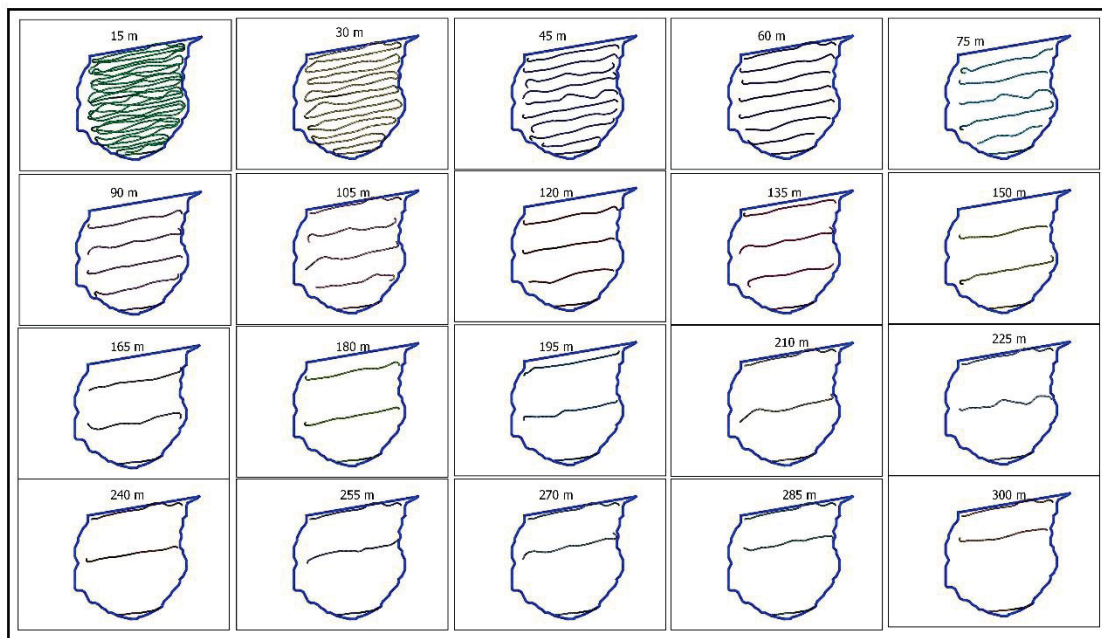


Fonte: o autor (2019)

Para gerar os MDSS empregou-se diferentes configurações na distribuição dos dados batimétricos, começando com o espaçamento entre as LRS de 15 metros até alcançar um espaçamento de 300 metros. A Figura 25 apresenta as seções batimétricas conforme o espaçamento entre as LRS. Para cada configuração computou-se um MDSS empregando o interpolador IDW e KRG

(semivariogramas: Apêndices I e II), este procedimento foi feito para os dados posicionados com o equipamento Leica 1200 e com o equipamento WS3190.

FIGURA 25 - ESPAÇAMENTO ENTRE AS LRS E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS DADOS BATIMÉTRICOS



Fonte: o autor (2019)

Os dados batimétricos adquiridos nos LB foram pré-processados no *software PowerNav*, onde os falsos-ecos (Figura 17) foram eliminados do conjunto de dados batimétricos. Em seguida, os dados foram exportados e abertos no *software QGIS*, neste foi realizado agrupamento conforme o espaçamento entre as LRS apresentado na Figura 25. Estes arquivos foram abertos no *software Surfer 16* e em seguida foram gerados os MDSS que estão representados nas Figuras 26, 27, 28 e 29. A Figura 26 mostra os MDSS computados com os dados batimétricos posicionados horizontalmente com o equipamento GPS WS3910 e interpolados com o KRG e a Figura 27 mostra os MDSS gerados com o interpolador IDW. Já as Figuras 28 e 29 mostram os MDSS gerados com os dados batimétricos sincronizados com o receptor Leica 1200, a primeira empregando o interpolador KRG e a última o IDW.

FIGURA 26 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS HORIZONTALMENTE POSICIONADOS COM O EQUIPAMENTO WS3910 E INTERPOLADO PELO KRG

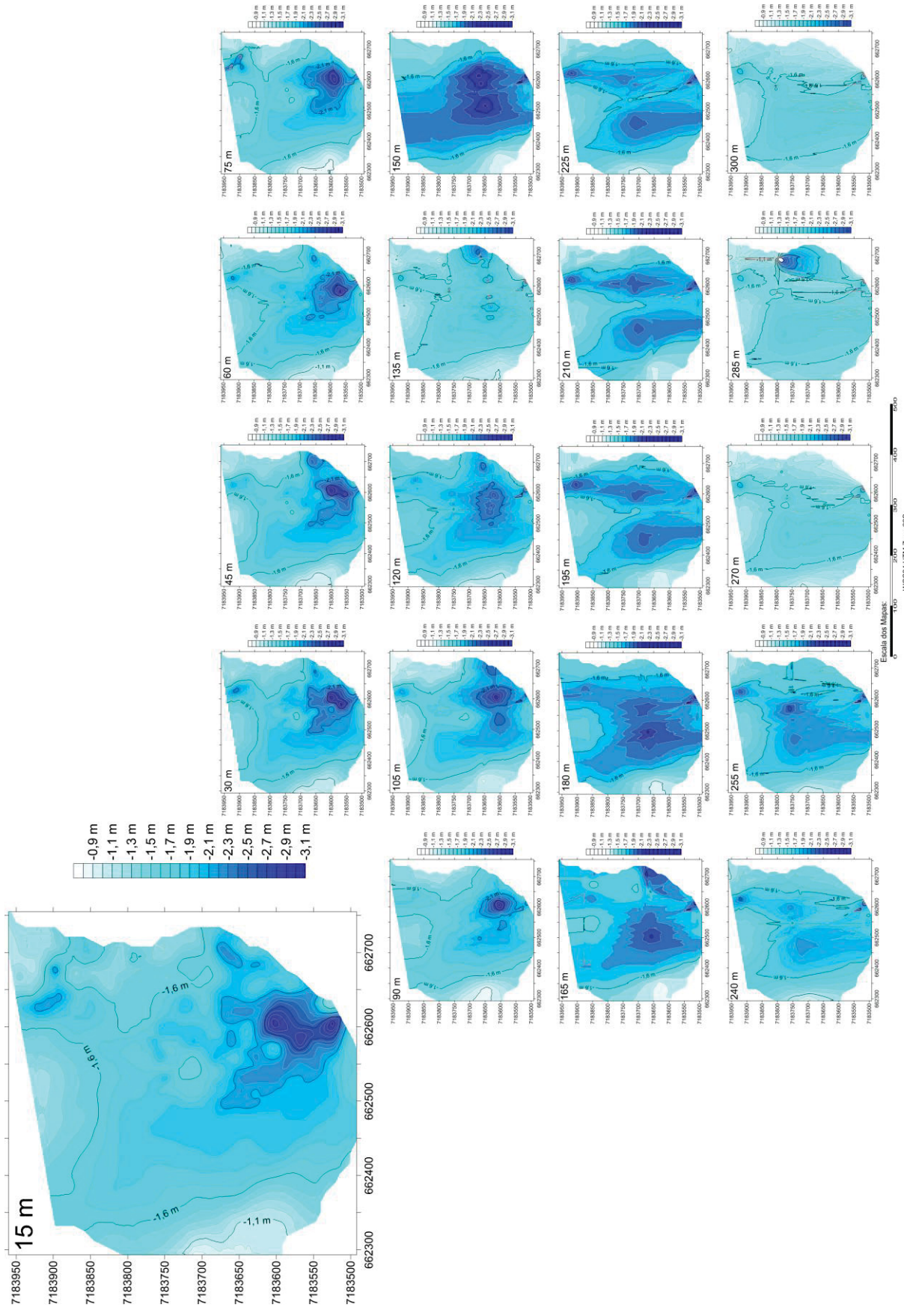
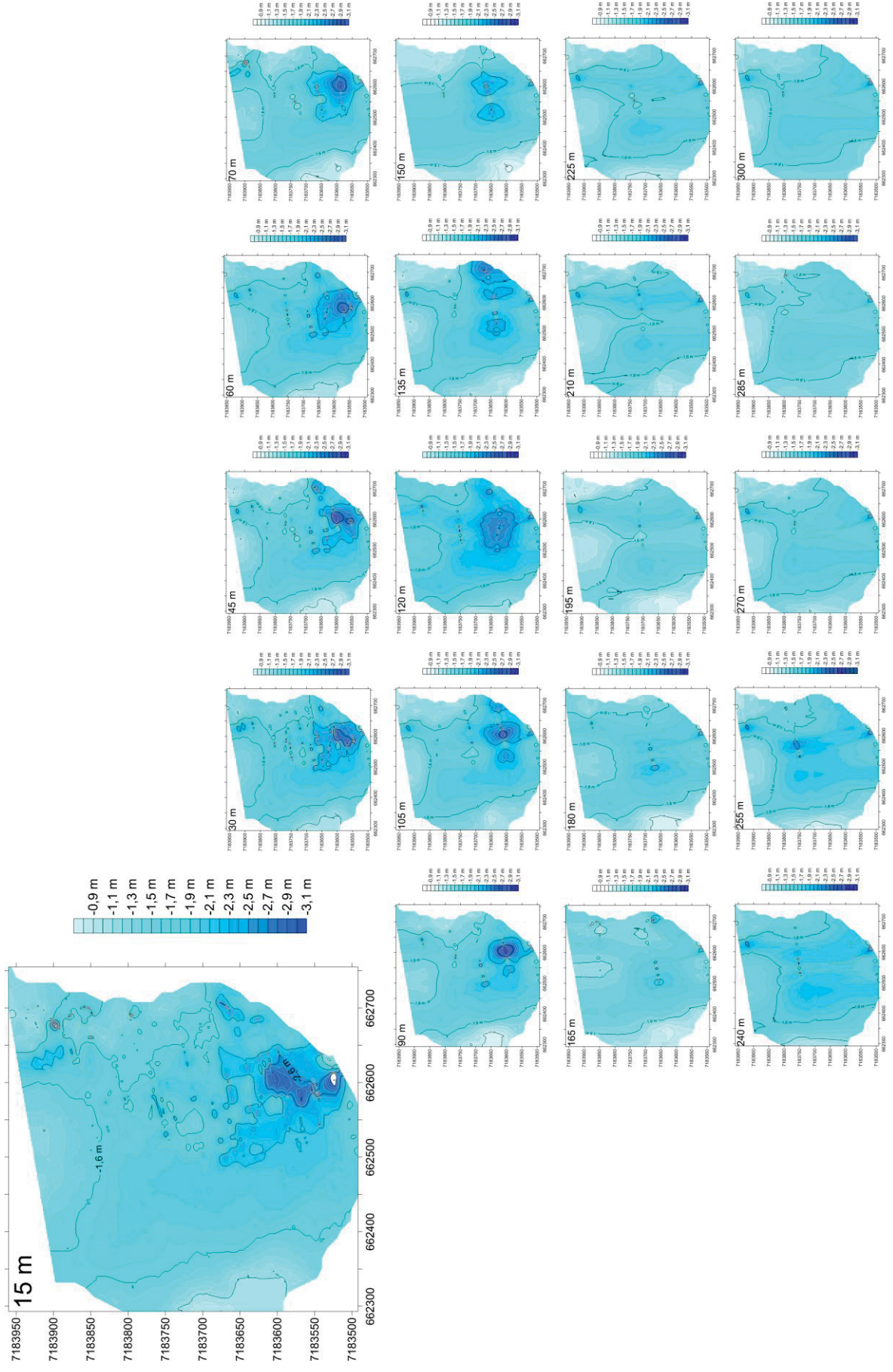
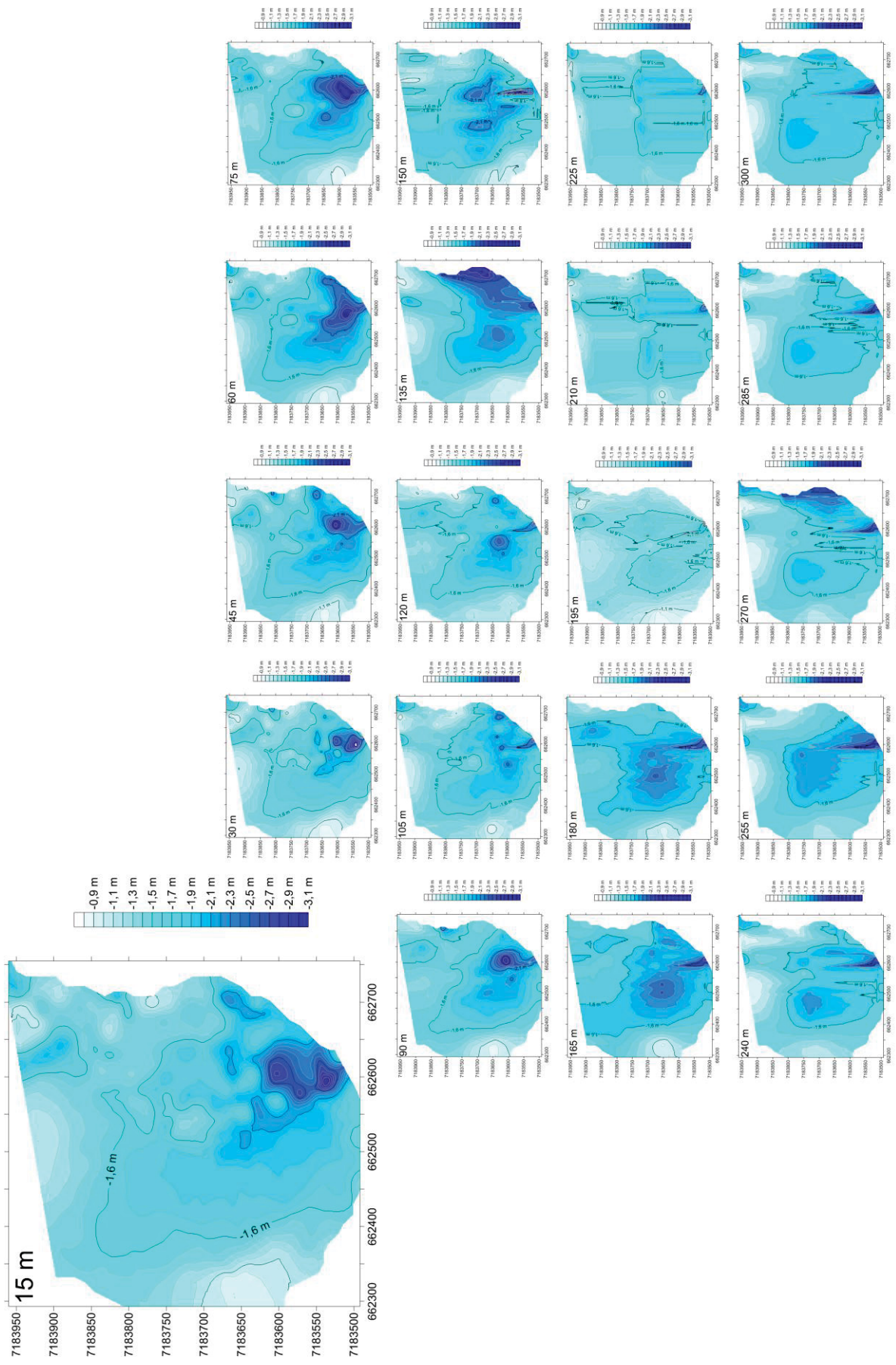


FIGURA 27 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO WS3910 E INTERPOLADO PELO IDW



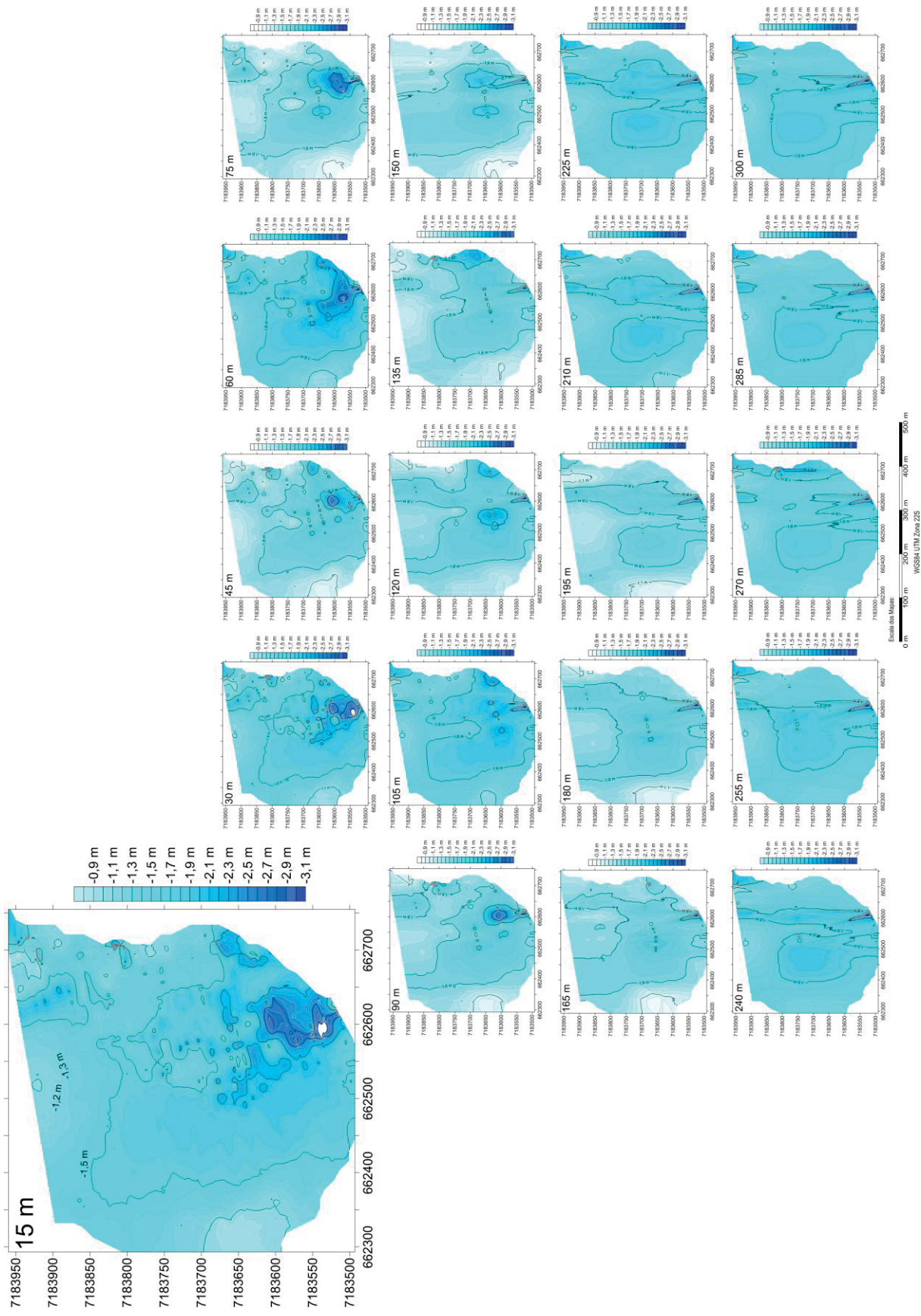
Fonte: o autor (2019)

FIGURA 28 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO LEICA1200 E INTERPOLADO PELO KRG



Fonte: o autor (2019)

FIGURA 29 - MDSS GERADOS COM OS DADOS BATIMÉTRICOS POSICIONADOS HORIZONTALMENTE COM O EQUIPAMENTO LEICA1200 E INTERPOLADO PELO IDW

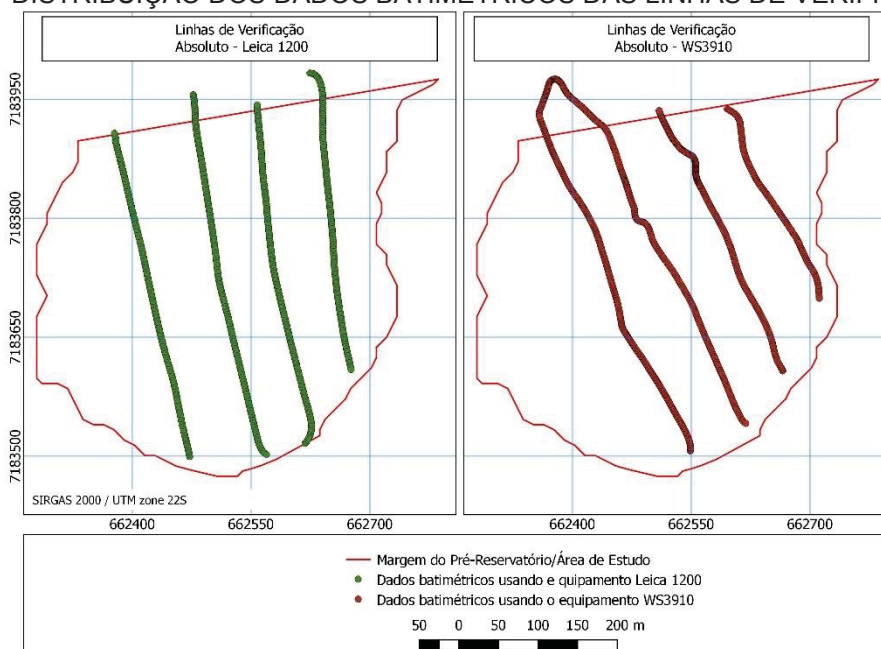


Fonte: o autor (2019)

O MDSS gerado com as LRS espaçadas em 15 metros está em destaque nas Figuras 26, 27, 28 e 29. Fazendo uma análise visual deste modelo, é possível constatar que as linhas isobáticas da superfície gerada com o interpolador KRG apresentam uma distribuição harmoniosa comparada com os modelos gerados com o interpolador IDW. Nota-se que a caracterização da topografia submersa do modelo advindo do IDW, se dá principalmente na vizinhança das observações batimétricas e, primordialmente, na direção das linhas regulares de sondagem. Outro aspecto observado nos modelos é a representação da declividade da topografia submersa da área em estudo, com destaque nos MDSS com LRS espaçadas de 15, 30, 45, 60 e 75 metros. Por outro lado, os MDSS com LRS espaçadas de 90, 105, 120 e 135 metros, a caracterização das declividades da topografia submersa foi se deteriorando, piorando ainda mais nos MDSS com LRS espaçadas de 150 até 300 metros.

As discrepâncias entre as profundidades das linhas de verificação (LV), apresentadas na Figura 30, com as interpoladas foram calculadas por meio do *software* Surfer 16. A análise destas ocorreu por meio da extensão *Action Stat*, a qual permitiu realizar o teste de normalidade e o teste da média das discrepâncias.

FIGURA 30 - DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS DAS LINHAS DE VERIFICAÇÃO

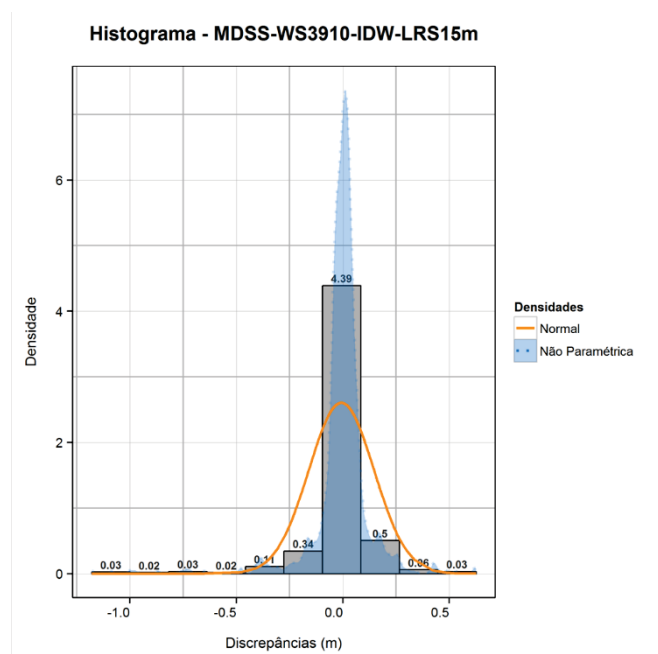


Fonte: o autor (2019)

Para realizar o teste de normalidade, elaborou-se os histogramas conforme o exemplo da Figura 31 - os demais estão nos Apêndices III, IV, V e VI. Aplicou-se,

também, o teste de Shapiro e Wilk (1965), constatando-se que as discrepâncias apresentavam um comportamento não-paramétrico, no qual os valores de P ficaram menores que o nível de significância adotado ($\alpha = 5\%$).

FIGURA 32 - EXEMPLO DE HISTOGRAMA DAS DISCREPÂNCIAS



Fonte: o autor (2019)

Após verificar que houve um comportamento não-paramétrico na distribuição das discrepâncias, aplicou-se então, o teste Wilcoxon para verificar a média destas. Logo, através desse teste, calculou-se os valores de P e o resultado pode ser observado na Tabela 18. Valores de P maiores que 5% aceita-se a Hipótese nula, onde esta promulga que a média, a um nível de significância de 95%, não é significativamente diferente de zero. Os valores de P destacados em verde são aqueles que passaram no teste de Wilcoxon.

TABELA 18 - ANÁLISE DA MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS NÃO-PARAMÉTRICAS

TESTE DA MÉDIA (WILCOXON) P-VALUE				
ESP. ENTRE AS LRS (m)	WS 3910		Leica 1200	
	IDW	KRG	IDW	KRG
15	20,1%	35,8%	74,5%	69,1%
30	92,5%	23,6%	5,9%	2,8%
45	5,2%	20,6%	45,1%	28,8%
60	59,0%	50,4%	8,1%	33,2%
75	2,8%	14,6%	0,1%	0,1%
90	17,9%	6,9%	3,5%	76,6%
105	74,1%	66,6%	1,0%	0,0%
120	64,3%	16,9%	14,0%	20,6%
135	7,09E-06	2,13E-05	2,70E-15	0,0%
150	5,3%	28,9%	45,6%	97,1%
165	47,2%	77,4%	0,8%	0,8%
180	4,52E-09	1,58E-10	1,70E-03	2,34E-08
195	3,99E-29	4,83E-29	4,75E-41	5,49E-41
210	3,31E-38	3,85E-38	4,17E-60	1,68E-56
225	2,71E-35	1,48E-36	3,15E-44	1,50E-48
240	1,76E-24	1,21E-30	2,32E-63	8,05E-52
255	2,51E-15	2,12E-20	7,58E-52	3,30E-47
270	3,02E-31	8,94E-39	3,81E-74	2,10E-48
285	1,13E-21	1,81E-03	4,76E-89	1,76E-68
300	9,02E-27	2,16E-37	2,18E-72	1,70E-43

Fonte: o autor (2019)

Nota-se que ao usar um espaçamento de 15, 45, 60, 120 e 150 metros entre as LRS a análise da média passaram em todos os MDSS gerados. O MDSS gerado com as LRS espaçadas em 75 metros obteve-se um *P-value* de 14,6% no modelo MDSS-WS3910-KRG; 2,8% no MDSS-WS3910-KRG e; 0,1% nos MDSS-Leica1200-IDW e KRG. O MDSS com LRS distanciadas em 135 metros foi reprovado em todos os testes, supõe-se que seções batimétricas com informações essenciais foram desconsideradas para gerar o modelo. Já o MDSS gerado com as LRS espaçadas em 165 metros passou somente os modelos cujo dados batimétricos foram posicionados horizontalmente com o equipamento WS3910. Por outro lado, LRS com distâncias acima de 180 metros, nenhum MDSS passou no teste da média, tanto quando nos modelos posicionados com o WS3910 e o Leica1200. Ressalta-se que os modelos gerados com os dados posicionados com o WS3910, com exceção os MDSS-WS3910-LRS135m e os demais com LRS de 180 m até 300 m, passaram no teste da média dos resíduos. Os modelos interpolados pelo IDW/KRG e gerados com os dados posicionados com o Leica1200 com LRS espaçadas em 75 metros não passaram no teste, assim como o MDSS com LRS espaçadas em 105 metros.

A fim de determinar uma medida estatística da magnitude das discrepâncias, calculou-se o RMS de cada MDSS conforme apresentado na Tabela 19, esses mesmos valores estão representados no Gráfico 1.

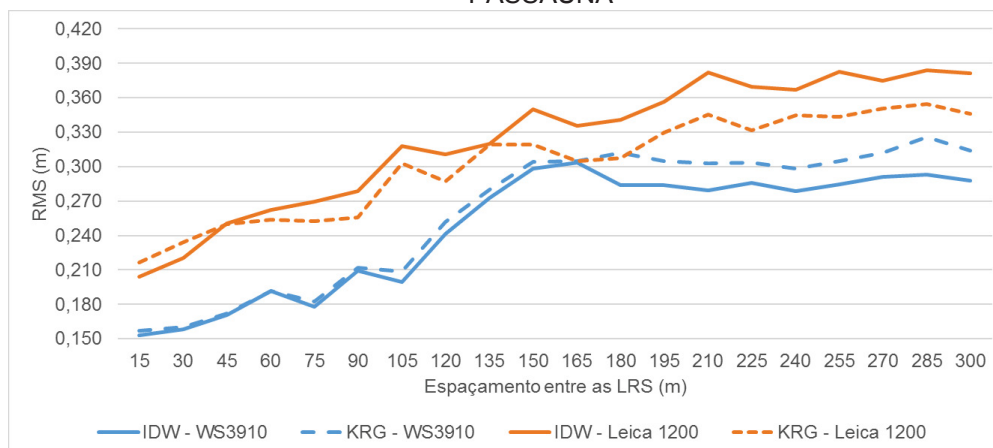
TABELA 19 - RMS DAS DISCREPÂNCIAS ADVINDOS DOS MDSS DO PRÉ-RESERVATÓRIO

RMS DAS DISCREPÂNCIAS (m)				
ESP. ENTRE AS LRS (m)	WS 3910		Leica 1200	
	IDW	KRG	IDW	KRG
15	0,153	0,157	0,204	0,216
30	0,158	0,160	0,221	0,234
45	0,171	0,172	0,251	0,250
60	0,191	0,192	0,262	0,254
75	0,178	0,182	0,269	0,252
90	0,209	0,212	0,279	0,256
105	0,200	0,209	0,318	0,303
120	0,241	0,252	0,311	0,287
135	0,273	0,280	0,320	0,319
150	0,299	0,304	0,350	0,320
165	0,303	0,305	0,335	0,305
180	0,284	0,312	0,341	0,307
195	0,284	0,305	0,356	0,329
210	0,279	0,303	0,382	0,346
225	0,286	0,303	0,370	0,332
240	0,279	0,298	0,367	0,345
255	0,285	0,305	0,382	0,343
270	0,291	0,312	0,375	0,351
285	0,293	0,325	0,384	0,355
300	0,288	0,314	0,381	0,346

Fonte: o autor (2019)

No Gráfico 1 observa-se que o RMS dos resíduos vai aumentando, constatando-se o quanto as observações estão se desviando da média. Nota-se que o RMS das LRS com espaçamento de 15 até 105 metros tem variação média de 0,180 m para o [MDSS- WS3910-IDW]; 0,183 m no [MDSS-WS3910-KRG]; 0,258 m no [MDSS-Leica1200-IDW] e; 0,252 m no [MDSS-Leica1200-KRG]. Os valores do RMS dos modelos com LRS de 105 m até o modelo com 165 metros apresentam um crescimento significativo ao comparar com os modelos com LRS com menor espaçamento. A partir dos 165 metros, os valores ficam estáveis.

GRÁFICO 1 - RMS DAS DISCREPÂNCIAS DOS MDSS DO PRÉ-RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA



Fonte: o autor (2019)

O RMS quando as LRS estão afastadas a 15 metros [MDSS-LRS15m] é o menor comparado com os demais RMS. Considerando este como modelo padrão, fez-se a comparação dos demais modelos, determinando-se então, a diferença entre os RMS. O resultado dessa comparação pode ser visto na Tabela 20.

TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS RMS EM RELAÇÃO AO RMS OBTIDO COM AS DISCREPÂNCIAS DO MDSS-LRS-15M

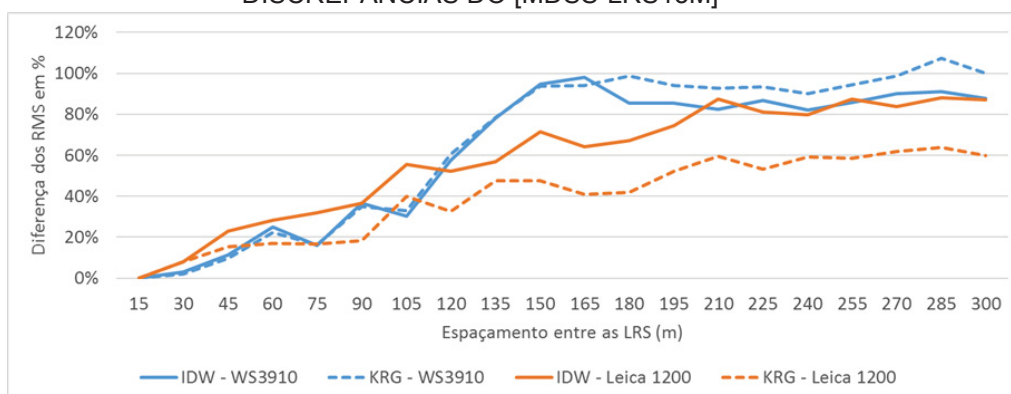
COMPARAÇÃO DOS RMS EM RELAÇÃO AO RMS DO MDSS-LRS-15M (%)				
ESP. ENTRE AS LRS (m)	WS 3910		Leica 1200	
	IDW	KRG	IDW	KRG
15	0%	0%	0%	0%
30	3%	2%	8%	8%
45	11%	10%	23%	15%
60	25%	22%	28%	17%
75	16%	16%	32%	17%
90	37%	35%	37%	18%
105	30%	33%	56%	40%
120	58%	60%	52%	33%
135	78%	78%	57%	47%
150	95%	94%	72%	48%
165	98%	94%	64%	41%
180	85%	99%	67%	42%
195	85%	94%	75%	52%
210	82%	93%	87%	60%
225	87%	93%	81%	53%
240	82%	90%	80%	59%
255	86%	94%	87%	59%
270	90%	99%	84%	62%
285	91%	107%	88%	64%
300	88%	100%	87%	60%

Fonte: o autor (2019)

O dados da Tabela 20 estão representados no Gráfico 2 e com isso pode-se fazer algumas observações: os RMS gerados com as discrepâncias, cujo dados batimétricos foram posicionados horizontalmente com o Leica 1200, apresentaram

menor variação em relação aos RMS advindos dos dados posicionados com o equipamento WS3910; os modelos [WS3910-IDW] e [WS3910-KRG] apresentaram comportamento semelhante, porém o [WS3910-IDW] com LRS espaçadas acima de 180 metros o RMS melhorou comparado com o [WS3910-KRG]; já com os dados posicionados com o Leica 1200, o [Leica1200-KRG] obteve uma variação do RMS menor do que o [Leica1200-IDW].

GRÁFICO 2 - COMPARAÇÃO DOS RMS EM RELAÇÃO AO RMS OBTIDO COM AS DISCREPÂNCIAS DO [MDSS-LRS15M]



Fonte: o autor (2019)

4.2.1 Cálculo do Volume dos MDSS

O *Software Surfer 16* permite calcular o volume do modelo digital ali gerado, logo, foi possível determinar esse valor para todos os MDSS do pré-reservatório. O volume resultante é a média dos três volumes calculados pelos métodos descritos no item 3.5 e o resultado pode ser observado na Tabela 21. Os volumes, por exemplo, do [MDSS-WS3910-IDW-LRS15m] e do [MDSS-Leica1200-IDW-LRS15m] são diferentes pois o LB foi realizado em dias diferentes e as PS não foram reduzidas a um nível de referência, logo, o volume computado está relacionado ao nível instantâneo da lâmina d'água do pré-reservatório na época em que foi realizado o LB.

TABELA 21 - VOLUME DOS MDSS DO PRÉ-RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA.

ESP. ENTRE AS LRS (m)	VOLUME CALCULADO (m³)			
	WS 3910		Leica 1200	
	IDW	KRG	IDW	KRG
15	293437,1797	293399,4325	276663,3063	276599,6793
30	290293,0401	290022,6447	278803,6546	278717,5987
45	290113,4678	290233,4044	275439,0871	274658,4314
60	290238,0578	289568,0687	276604,9257	276861,1160
75	295371,8132	294193,9819	280803,4909	281012,5548
90	290477,8934	289586,8936	277126,4430	277280,3390
105	287869,5925	287542,8740	269432,0056	269266,3423
120	291418,1125	289018,3704	275171,4342	275963,9247
135	285929,5746	285990,8849	270760,9410	271251,2248
150	291180,3034	289970,8381	276745,3730	277987,6230
165	292912,9358	292423,2012	270564,4886	272090,7362
180	283685,8590	282054,6915	267742,5666	268910,4322
195	276678,4076	274741,8342	256652,5208	259341,9412
210	274202,4359	272237,6832	255023,7136	256793,9445
225	272843,7710	270397,5679	258849,8111	260470,4223
240	274673,2467	269595,6936	257326,4230	259598,1119
255	279022,3300	274502,6866	256561,5140	259912,6884
270	273859,1927	266639,9375	261239,5078	264714,8410
285	278933,8985	285160,9645	255998,9651	260047,4762
300	277894,9029	269231,4614	260392,0183	265880,1959

Fonte: o autor (2019)

O Gráfico 3 apresenta os volumes apresentados na Tabela 21.

GRÁFICO 3 - VOLUME DE PREENCHIMENTO DOS MDSS DO PRÉ-RESERVATÓRIO



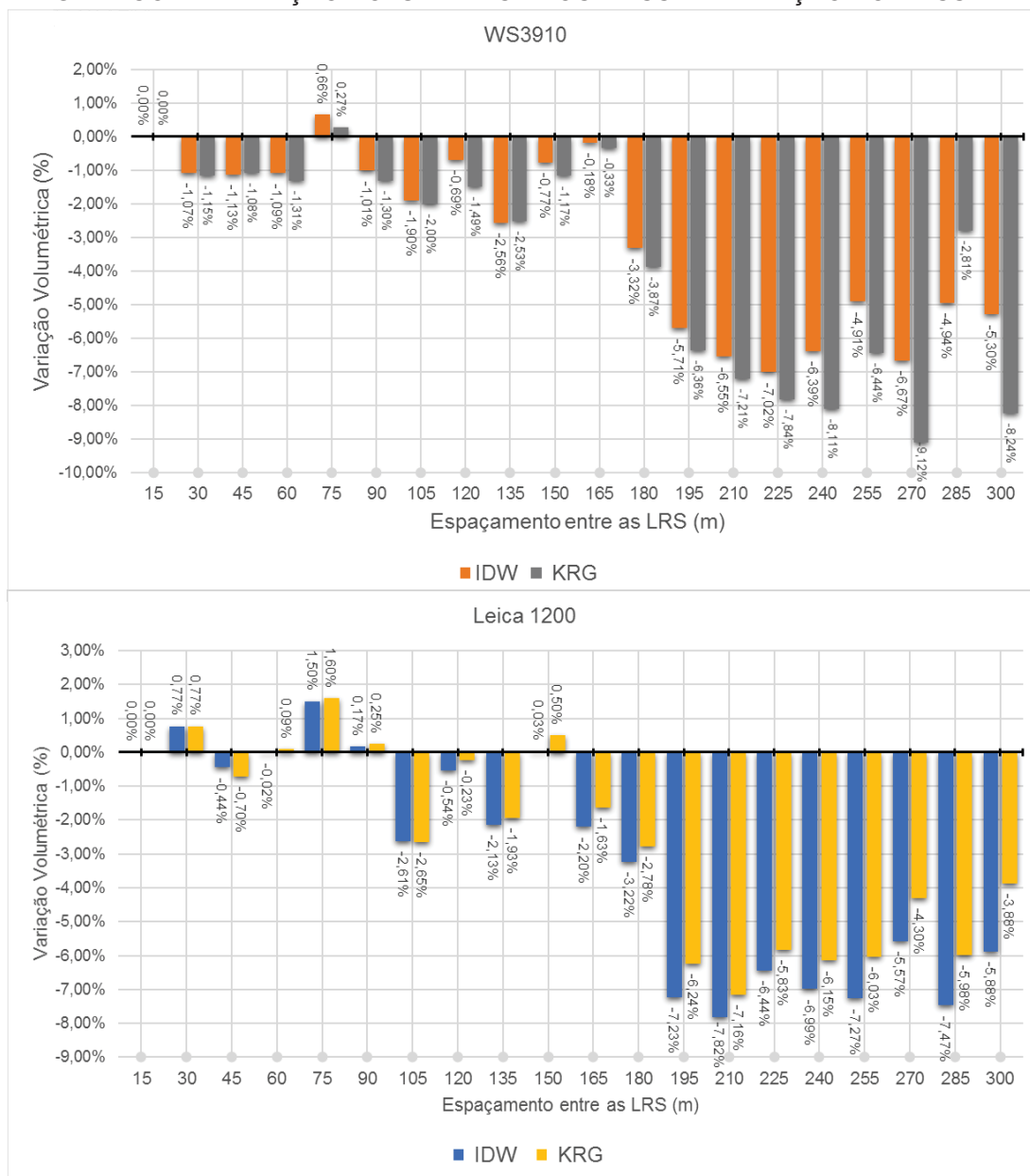
Fonte: o autor (2019)

Considerando o volume do MDSS gerado com os dados batimétricos das LRS espaçadas em 15m como o valor mais acurado – pois apresentou menor RMS – fez-se a comparação com os demais volumes gerados.

A discrepância (em porcentagem) dos volumes em relação ao modelo mais acurado pode ser observada no Gráfico 4. Nota-se que a diferença entre os MDSS com LRS espaçadas até 180 metros com o volume do [MDSS-LRS15m] ficou abaixo de 5% e; do [MDSS-LRS30m] até o [MDSS-LRS165m], para os dados posicionados horizontalmente com o WS3910 e Leica 1200, a variação máxima foi de 2,53% no [MDSS-WS3910-IDW- LRS135m]. A média da variação volumétrica dos modelos [MDSS-WS3910-IDW-LRS15m] até o [MDSS-WS3910-IDW-LRS165m] foi de -0,97%; -1,21% para os modelos [MDSS-WS3910-KRG-LRS15m] até o [MDSS-WS3910-KRG-LRS165m]; -0,55% para os [MDSS-Leica1200-IDW-LRS15m] até o [MDSS-

Leica1200-IDW-LRS165m] e; -0,39% para os modelos [MDSS-Leica1200-KRG-LRS15m] até [MDSS-Leica1200-KRG-LRS165m].

GRÁFICO 4 - VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA DOS MDSS EM RELAÇÃO AO MDSS-



Fonte: o autor (2019)

Em síntese, a discrepância volumétrica dos MDSS em relação ao MDSS de referência, o MDSS-LRS15m, aproximou-se a 3,87% no MDSS com LRS espaçadas em 180 metros. A partir desse modelo, a discrepância foi aumentando consideravelmente, chegando a um valor máximo de 7,47% no MDSS-Leica1200-KRG-LRS285m.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Inicialmente nessa seção serão aparentadas as conclusões referentes aos testes realizados na Fase 1. Iniciando-se com os resultados obtidos com os testes realizados na Cena 1, depois a Cena 2 e, por último, as Cenas 3 e 4.

Mediante resultados obtidos nos testes realizados na Cena 1, verificou-se que há uma degradação na acurácia das profundidades observadas à medida que ocorre a aproximação do transdutor à borda da piscina. Quando o transdutor estava localizado a 50 cm da borda, a acurácia média das 175 profundidades medidas nesta posição forneceu uma acurácia média de 0,006 metros. Uma filtragem nos dados foi efetuada, sendo que apenas uma observação das 175 profundidades foi eliminada, fornecendo uma acurácia de 0,0000345 m. A medida que o transdutor foi determinando profundidades em posições mais próximas da borda, verificou-se que, com a filtragem dos dados pelos 3-sigmas, o número de observações eliminadas foi crescendo, isto é, para a posição de 30 cm da borda apenas 165 profundidades foram consideradas; para 15 cm da borda, 5 observações e; para uma distância de 2 cm, apenas 2 observações.

Com a Cena 2 foi possível identificar a profundidade dos objetos submersos, porém, durante o processo de interpolação, a sua forma não foi preservada. No entanto, o teste permitiu verificar que, durante o LB, devido a mudança repentina da superfície submersa, ocorreu o surgimento de falsos-ecos, o quais devem ser removidos antes do processo de interpolação. Ao usar o método absoluto para o posicionamento planimétrico dos dados batimétricos, notou-se que ocorreu um deslocamento da posição dos objetos no MDSS. Fato este que impacta significativamente quando se almeja efetuar navegação com segurança. Ao analisar a altura da lâmina d'água sobre o objeto no MDSS, observou-se que houve uma variação centimétrica em relação à altura real. Constatando-se que a maior variação ocorreu para as determinações efetuadas sobre o objeto mais irregular (objeto B).

Por intermédio dos testes realizados na cena 3 e 4, constatou-se que a acurácia na determinação do volume do MDSS ficou entre -2,74% e -4,76% menor em relação ao volume real da piscina. Empregando-se os interpoladores KRG e IDW na geração do modelo e posteriormente o cálculo do volume, obteve-se resultados semelhantes com ambos interpoladores. Tal situação pode ser decorrente de os testes estarem

sendo realizados em um local plano e com pouca variação de profundidade. Por outro lado, o interpolador KRG obteve um melhor desempenho na representação da declividade da superfície submersa da piscina.

Em relação a disposição dos dados nos testes das Cenas 3 e 4, paralelamente ou em Zig-Zag, os modelos gerados com os dados posicionados com o método RTK e dispostos em linhas paralelas apresentaram menor discrepância volumétrica. Este mesmo resultado foi observado nos modelos gerados com os dados posicionados com o método absoluto, porém, dispostos em linhas em Zig-Zag. A vantagem de usar linhas em Zig-Zag é que a distribuição dos dados batimétricos na área sondada fica melhor se comparada com a distribuição destes em linhas paralelas, onde os dados nas linhas paralelas ficam majoritariamente em uma mesma direção. Nesse sentido, considerando a distribuição destes dados e a acurácia do método absoluto (acurácia métrica), a qual acarretou uma translação das observações, resultou em modelos mais acurados e, conseqüentemente, volumes mais próximos do volume real da piscina. No entanto, ao considerar a acurácia do posicionamento, sendo que no RTK é decimétrica, se finda que a metodologia a qual se realiza um LB com seções batimétricas paralelas e posicionados horizontalmente com o RTK é mais indicada, pois o método RTK garantirá uma melhor acurácia no posicionamento das feições submersas.

Após a realização dos testes no pré-reservatório do Passaúna (Fase 2) foram obtidas algumas conclusões apresentadas na sequência.

O MDSS do pré-reservatório do Passaúna possibilitou a identificação da localização das principais depressões do terreno submerso, principalmente nos modelos gerados com LRS espaçadas em 15, 30, 45, 60 e 75 metros. Ao analisar os volumes destes modelos com as LRS espaçadas de 30 metros até 180 metros obteve-se uma acurácia melhor do que 4,76%, fato este que corrobora com aquele da piscina.

Verificou-se, também, que o espaçamento entre as LRS promulgado pela ANA (2013) para os reservatórios não atendeu às expectativas para a área em estudo. Neste caso o espaçamento seria de 428 metros. Por outro lado, os métodos indicados por Carvalho et al. (2000) e Morris e Fan (1998) foram bem promissores, sendo que o primeiro indicava um espaçamento de 20 metros e o segundo de 57 metros entre as LRS. De modo geral, conclui-se que o planejamento do espaçamento entre as LRS

pode seguir as orientações de Carvalho et al. (2000) e Morris e Fan (1998) para reservatórios do tipo Pequeno e Médio (Tabela - 6). Para reservatórios com dimensões maiores, do tipo Médio-a-Grande, Grande e Extra-Grande, onde sua característica se assemelha a de uma Pequena Central Hidrelétrica, definida pela ANA (2013), recomenda-se o emprego da Equação (6). Se o reservatório apresentar uma escala muito pequena, extrapolando as definições de Carvalho et al. (2000), indica-se a aplicação da Equação (5) para definir este espaçamento.

Os volumes dos modelos gerados a partir do posicionamento da embarcação por diferentes receptores, o Leica 1200 e o WS3910, apresentaram comportamentos semelhantes. Em ambos os casos, os MDSS gerados com LRS com espaçamentos acima de 195 metros, contatou-se discrepâncias superior a 6%. Em alguns modelos a discrepância ficou abaixo de 6%, acredita-se que as LRS com profundidades importantes do relevo submerso foram consideradas durante o processo de interpolação do MDSS e, conseqüentemente, tornou-se mais acurado a determinação do seu volume.

Em relação aos métodos de interpolação usados para gerar os MDSS, o KRG e o IDW, verificou-se que os resultados obtidos nessa Fase 2 foram similares aos resultados encontrados nos testes realizados na Fase 1. Contudo, o interpolador IDW seria uma boa indicação para gerar os MDSS dos reservatórios para captação de água por dispensar a geração de semivariogramas e o conhecimento de geoestatística por parte do usuário.

Durante o processo de aquisição de dados batimétricos é importante observar os efeitos de borda devido à proximidade de objetos ao transdutor, o que pode interferir na qualidade das profundidades. Outro fator importante, é a identificação de *falsos-ecos* durante a filtragem dos dados, decorrentes de objetos em suspensão ou obstáculos submersos, os quais devem ser removidos.

No caso do posicionamento horizontal da embarcação, caso o objetivo do LB seja o cálculo de volume, receptores de simples ou dupla frequência apresentaram resultados semelhantes com os testes realizados com o método absoluto de posicionamento. Por outro lado, recomenda-se a realização de testes com Posicionamento em Tempo Real (RTK) para a embarcação durante a determinação da profundidade, visto que poderá haver diferença significativa no cálculo do volume

deste modelo quando comparado com aquele gerado pelo posicionamento da embarcação pelo método Absoluto.

A realização de levantamentos batimétricos em outros reservatórios é indicada, buscando realizar o mesmo procedimento de análise e se o espaçamento entre as LRS de até 180 metros é suficiente, como constado aqui nesta pesquisa. Pois, no caso, a topografia submersa do reservatório é de grande relevância para a determinação do espaçamento entre as LRS e, de certo modo, influencia na determinação do volume dos MDSS. Recomenda-se usar modelos digitais de dados batimétricos advindos de um sistema multifeixe para fazer essa comparação ou, se possível, usar dados topográficos ou imagens orbitais antes da inundação do reservatório.

6 REFERÊNCIAS

ACTION STAT. **Action Stat.** Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/action-stat-pro>>. Acesso em: 13/6/2019.

ANA. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil.** 2002.

ANA. **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume.** 2013^o ed. Brasília, Brasil, 2013.

ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil.** 2019.

ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; ANDREOLI, F. D. N. Os Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba - RMC. **Ix Silubesa**, p. 10, 2000.

BANUL, K. **Bathymetry of Reykjanes Ridge : A methodological approach.** , , n. June, p. 95, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1946/18739>>. .

BATISTA, M. **Manual do Saneamento Básico.** 2012.

BIHALVA, W. D. DE B. **Batimetria de Pequenos Reservatórios através de Metodologia Convencional e Alternativa.** , p. 73, 2013.

CAMARGO, E. C. G.; FELGUEIRAS, C. A.; FUCKS, S. D.; FILHO, R. A.; BARBOSA, C. C. F. B. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais.** 2^a ed. São José das Campos, SP, 1998.

CARMO, R. L. DO; DAGNINO, R. DE S.; JOHANSEN, I. C. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 31, n. 1, p. 169–190, 2014.

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, N. DE O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C. ; LIMA, J. E. F. W. . **Guia de avaliação de Assoreamento de Reservatórios.** , 2000. Brasília: ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/GuiaAsso.pdf>>. .

CENTRO NÁUTICO. **Barco Levefort Marfim 6.0 CLX.** Disponível em: <<https://www.centronautico.net/levefort/2264-barco-de-aluminio-marfim-60-clx.html>>. Acesso em: 25/3/2019.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados.** Curitiba, 2002.

DOW, J. M.; NEILAN, R. E.; RIZOS, C. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. **Journal of Geodesy**, v. 83, n. 3–4, p. 191–198, 2009.

EBC. **Estudo prevê crescimento de 24% do consumo de água até 2030.** Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-04/estudo-preve>>

crescimento-de-24-do-consumo-de-agua-ate-2030>. Acesso em: 11/6/2019.

EL-HATTAB, A. I. Single Beam Bathymetric Data Modelling Techniques for Accurate Maintenance Dredging. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 17, n. 2, p. 189–195, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.05.003>>. .

ESTIGONI, M. V. Influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios. Estudos de caso: UHE Três Irmãos – SP e UHE Chavantes – SP. , 2012.

FEDERAL GEOGRAPHICAL DATA COMMITTEE. Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. **Geospatial Positioning Accuracy Standards**, p. 28, 1998.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO. In: G. Câmara; C. Davis; A. M. V. Monteiro (Orgs.); **Introdução à Ciência da Geoinformação**. p.1–36, 2004. São José das Campos: INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. .

FERNANDES, D. P. **Indícios de Degradação Ambiental em um Reservatório Oligotrófico (Reservatório de Serra Azul, MG - Brasil): Avaliação Limnológica, Morfometria, Batimetria e Modelagem Hidrodinâmica**. , p. 113, 2012. Disponível em: <http://www.ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/art_pdf/Diss_Denise_Fernandes.pdf>. .

FERNANDES, E. M. DA G. P. **Estatística Aplicada**. Braga, 1999.

FERREIRA, I. O. **Coleta , Processamento e Análise de Dados Batimétricos Visando a Representação Computacional do Relevo Submerso Utilizando Interpoladores Determinísticos e Probabilísticos**, 2013. Universidade Federal de Viçosa.

FILHO, L. V. DA S. **Qualidade e Percepção Ambiental: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Passaúna**, 2010. Universidade Federal do Paraná.

GENTIL, W. B. **Topobatimetria e Sedimentação no Reservatório da Usina Hidrelétrica da Caçu - Goiás**, 2015. Universidade Federal de Goiás.

GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric Statistical Inference**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991.

GROSSO, V. A. DEL; MADER, C. W. Speed of Sound in Pure Water. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 52, n. 5B, p. 1442–1446, 1972.

HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER, W. **GNSS - Global Navigation Satellite System GPS, GLONASS, Galileo, & more**. Austria: Springer Wiem New York, 2007.

IBGE. Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos - GPS. **Animal Genetics**, v. 39, n. 5, p. 561–563, 2008.

IBGE. **População**. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 14/4/2018a.

IBGE. **Brasil consome 6 litros de água para cada R\$ 1 produzido pela Economia.** Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20465-brasil-consome-6-litros-de-agua-para-cada-r-1-produzido-pela-economia>>. Acesso em: 16/1/2018b.

IONIDES, E. L.; GIESSING, A.; RITOV, Y.; PAGE, S. E. Response to the ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose. **American Statistician**, v. 71, n. 1, p. 88–89, 2017. Taylor & Francis. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00031305.2016.1154108>>. .

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, p. 22, 2006.

JOHNSTON, K.; HOEF, J. M. VER; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. 2001.

KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. **Understanding GPS/GNSS. Principles and Applications**. 3rd ed. United States of America: Artech House, 2017.

KETTELHUT, J. T. S.; BARROS, F. G. Os avanços da lei das águas. , 1997.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do gps no âmbito marinho**, 1996. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/44184>>. .

KRUEGER, C. P. Integração do GPS e da ecobatimetria. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 5, p. 55–68, 1999.

KRUEGER, C. P.; VEIGA, L. A. K.; FAGGIN, P. L. Levantamento Batimétrico no Rio Uruguai. **Congresso Brasileiro de Cartografia**, 2003. Belo Horizonte.

KUWAHARA, S. Velocity of sound in sea water and calculation of the velocity for use in sonic sounding. **National Research Council of Japan**, v. 16, p. 18, 1938.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à Confecção de Mapas pelo Software Surfer**. 2002.

LANGLEY, R. B.; TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. In: P. J. G. Teunissen; O. Montenbruck (Orgs.); **Springer**. p.877–901, 2017. Germany: Springer.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica GPS1200**. Heerbrugg, 2007.

MACKENZIE, K. V. Formulas for the Computation of Sound Speed in Sea Water. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 32, n. 1, p. 100–104, 1960.

MASON, W. P. **Physical Acoustics: Principles and Methods**. 1964.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos**

batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “ CAV-NH ”, p. 125, 2012.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent**, v. 3, n. 4, p. 33–38, 2002. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.skymedia.co.uk/sky-adsmart/>>. .

MESQUITA, S. M. P. **Modelação da distribuição espacial da qualidade do ar em Lisboa usando sistemas de informação geográfica**Dados, 2009. Universidade Nova de Lisboa.

MEZINE, W. A. **Metodologia para Monitoramento do Assoreamento de Reservatórios: Proposta para a UHE Mauá**, 2015. Universidade Federal do Paraná.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**. 2.ed. ed. São Paulo: UNESP, 2008.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir Sedimentation Handbook**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1998.

NOAA. **History of Hydrographic Surveying - 200 Years of Science, Service, and Stewardship**. Disponível em: <<https://www.nauticalcharts.noaa.gov/charts/history-of-hydrographic-surveying.html>>. Acesso em: 1/10/2018.

NORMAM -25 (DHN), D. DE H. E N. **Normas Da Autoridade Marítima Para Levantamentos Hidrográficos - Normam25 Rev.2.**, v. 2ª Revisão, p. 94, 2017.

OHI. **Manual de Hidrografia**. Lisboa, 2005.

OHI. **Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos.**, v. 1, p. 42, 2008. Disponível em: <[http://iho.int/iho_pubs/standard/S-44_Ed 5 0 0_PT-BR \(2\).pdf](http://iho.int/iho_pubs/standard/S-44_Ed 5 0 0_PT-BR (2).pdf)>. .

OPENSTREETMAP. **OpenStreetMap**. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/#map=2/-20.8/-114.1>>. Acesso em: 1/2/2019.

PUKELSHEIM. The three sigma rule. **American Statistician**, v. 48, n. 2, p. 88–91, 1994.

RAMOS; KRUEGER. **Aplicação, Investigação e Análise da Metodologia de reduções Batimétricas através do Método GPS Diferencial Preciso.**, 2007. Universidade Federal do Paraná.

REIS, G. M.; RIBEIRO JR, J. I. Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais. **III Saepro**, , n. 2002, p. 1–13, 2007. Disponível em: <<http://www.saepro.ufv.br/wp-content/uploads/2007-3.pdf>>.

SANEPAR. **Os Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba - RMC**. 1999.

SETIANTO, A.; TRIANDINI, T. Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. **Journal of**

Southeast Asian Applied Geology, v. 5, n. 1, p. 21–29, 2013.

SHALLOWITZ, A. L. **The Physical Basis of Modern Hydrographic Surveying**, v. 17, n. 8, p. 3635–3640, 1931.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika Trust**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

SHERMAN, C. H.; BUTLER, J. L. **Transducers and arrays for underwater sound**. 2007.

SILVEIRA, A. C. **Estimação da Acurácia da Posição de “Pixels” em Sistemas de Batimetria Multifeixe**, 2004.

SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. **Fisheries acoustics: Theory and practice: Second edition**. 2007.

SOUTH SDE-28S. **SDE-28S Especificações**. .s.d.

SOUTH SURVEYING, M. I. **SDE-28 Echo Sounder Operation Manual**, v. 86, n. 8, p. 1–44.

SUDERHSA. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. **Superintendência de Desenvolvimento de Recurso Hídricos e Saneamento Ambiental**, v. 4, p. 313, 2002.

SURFER. Surfer User’s Guide. **Golden Software, Inc**, p. 665, 2002.

TANAJURA, E. L. X. **Investigação quanto aos Parâmetros que Influenciam no Processamento de Dados GPS Visando a Geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel**, 2008. Universidade Federal do Paraná.

TOPCON. **HiPer SR Site Receiver**. California, 2017.

U.S. AIR FORCE. **Space Segment**. Disponível em: <<https://www.gps.gov/systems/gps/space/#IIIF>>. Acesso em: 20/10/2018.

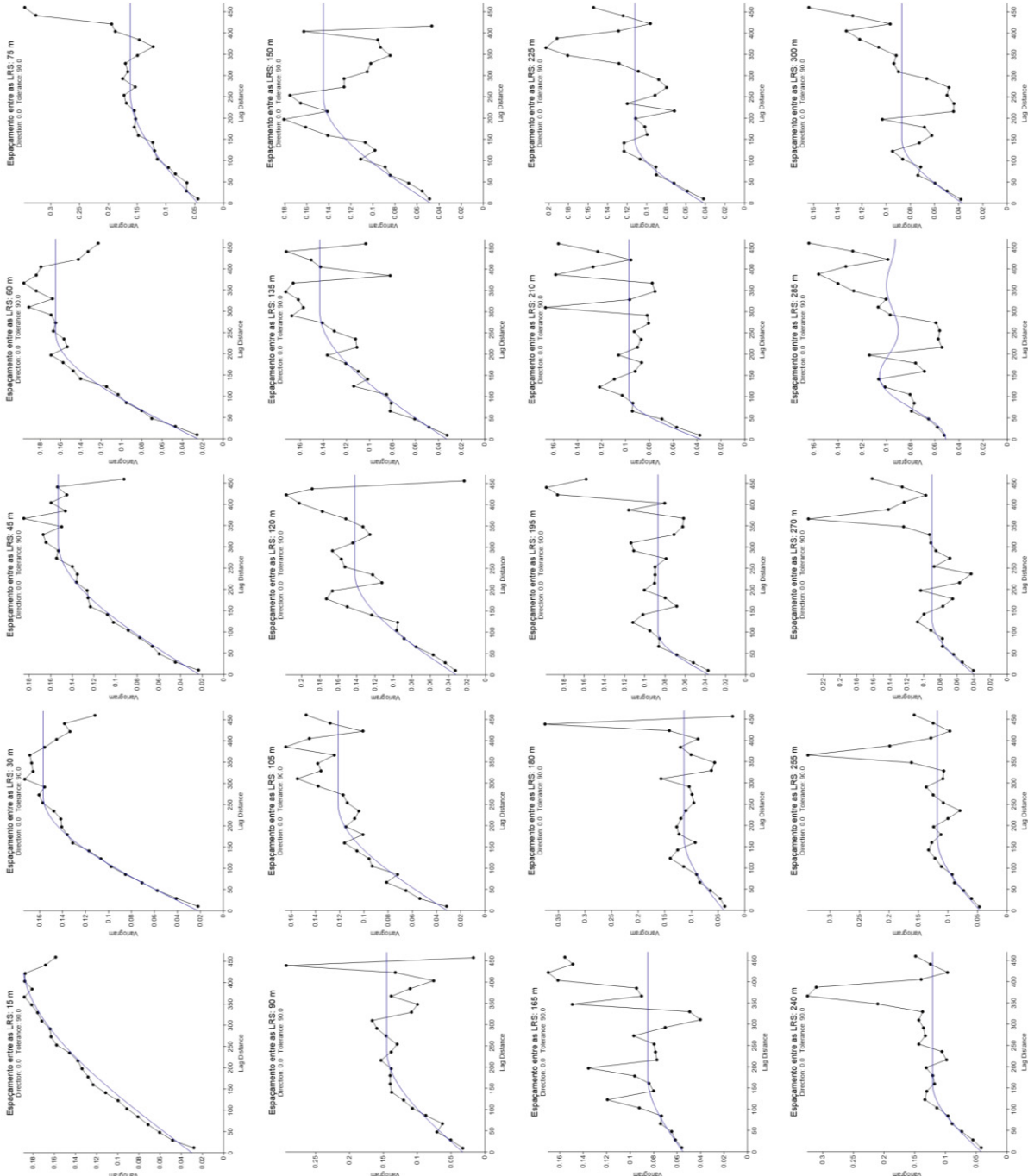
UNRIC. **Aumento da população mundial está a contribuir para agravamento da crise da água**. Disponível em: <<https://www.unric.org/pt/actualidade/22742>>. Acesso em: 11/6/2019.

WI-SYS COMMUNICATION INC. **WS3910**. Ottawa, .

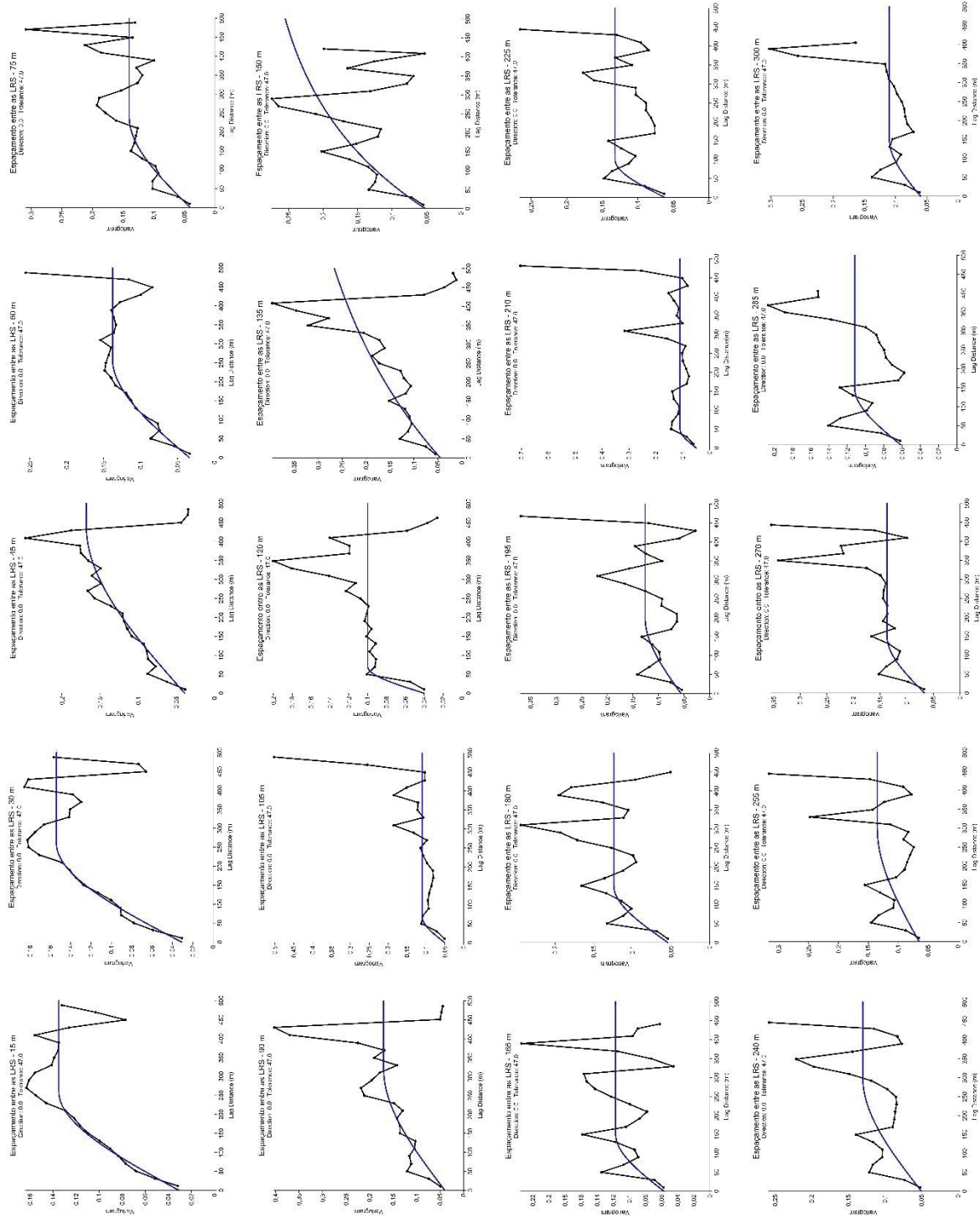
WILCOXON, F. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, v. 6, n. 1, p. 80–83, 1945.

YANG, C.; KAO, S.; LEE, F.; HUNG, P. Twelve Different Interpolation Methods : a Case Study of SURFER 8.0. **Proceedings of the XXth ISPRS Congress**, v. 35, p. 778–785, 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/231.pdf>>. .

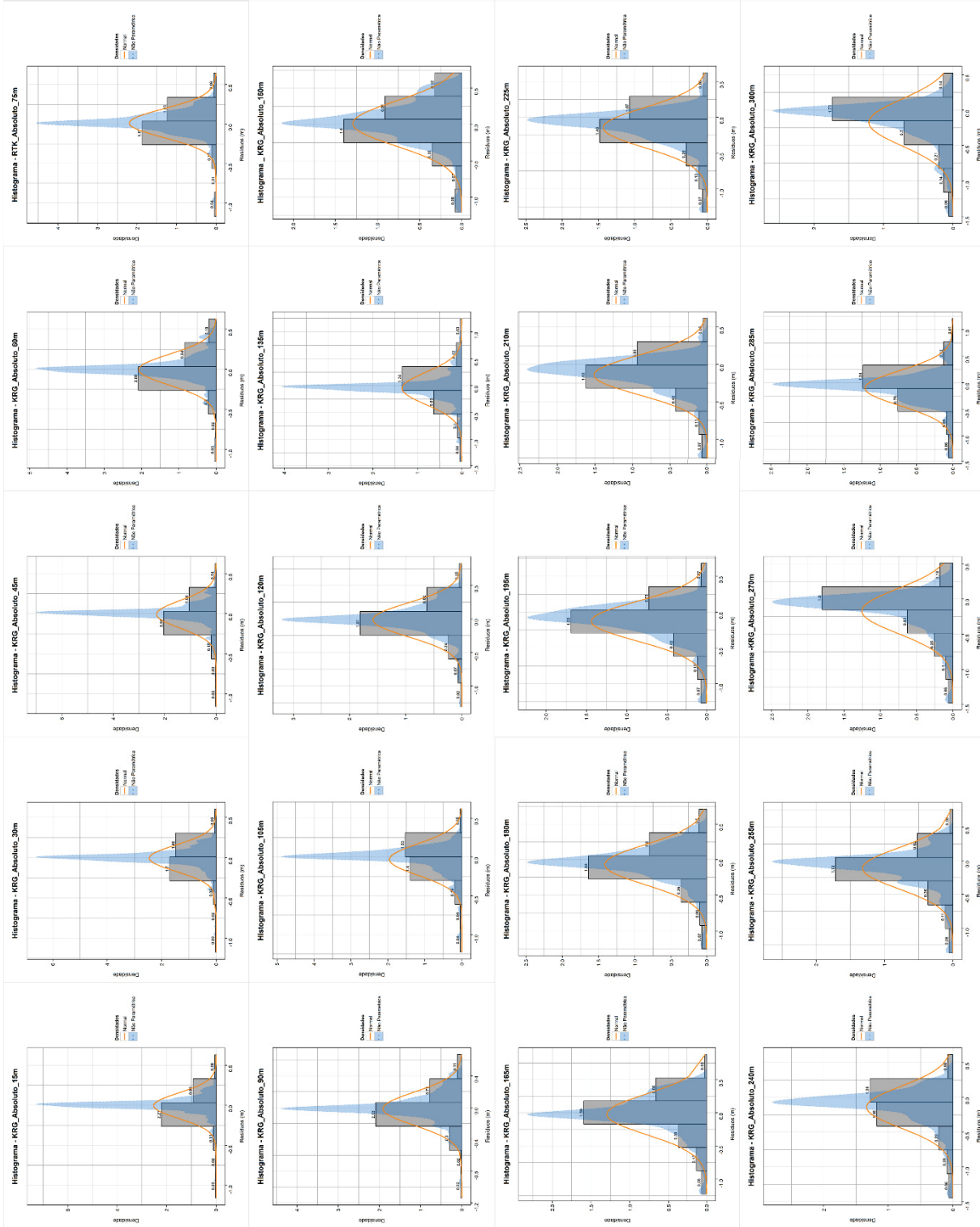
APÊNDICE I – SEMIVARIOGRAMAS DOS DADOS BATIMÉTRICOS WS3910



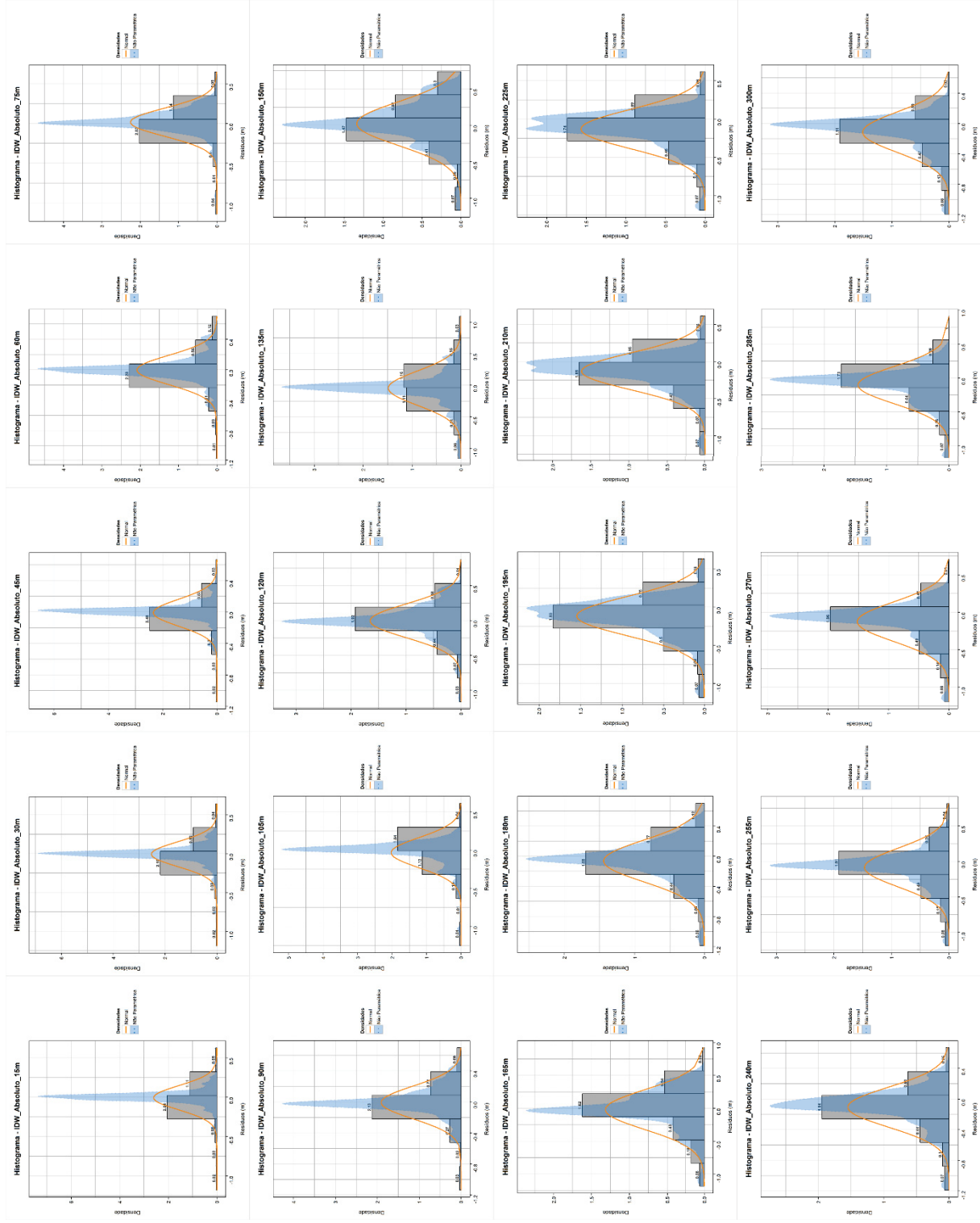
APÊNDICE II – SEMIVARIOGRAMAS DOS DADOS BATIMÉTRICOS LEICA1200



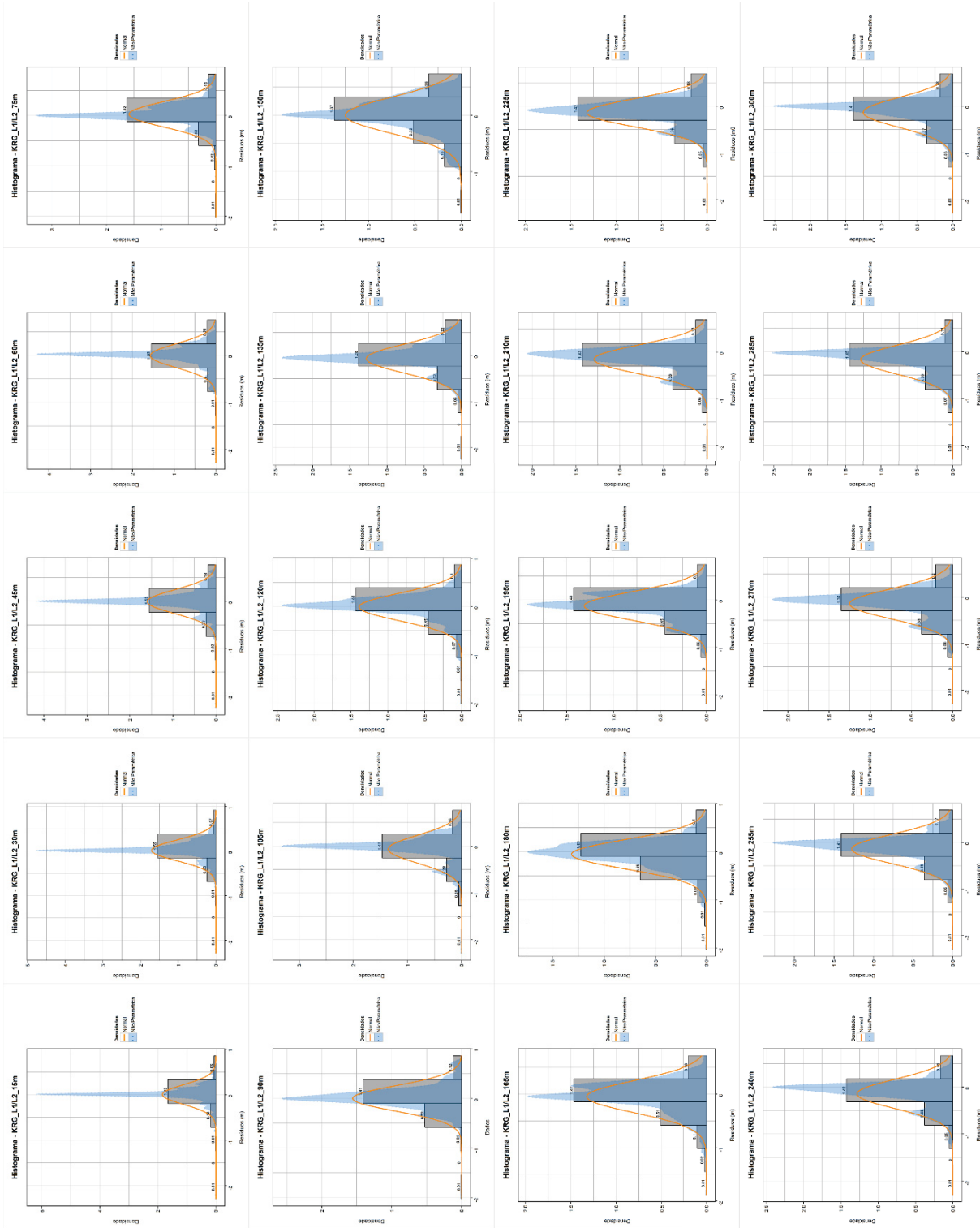
APÉNDICE III – HISTOGRAMAS WS3910-KRG



APÉNDICE IV - HISTOGRAMAS WS3910-IDW



APÊNDICE V – HISTOGRAMAS LEICA1200-KRG



APÊNDICE VI – HISTOGRAMAS LEICA1200-IDW

