

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

RAYAN TADEU CORRÊA DE MORAES BARBOSA

Análise dos efeitos decorrentes da latência de posicionamento e desvios de offsets angulares em levantamentos batimétricos com MBES.

Projeto Final apresentado ao curso de Graduação em Geofísica, na Universidade Federal Fluminense, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Arthur Ayres Neto
Coorientador: Vitor Bravo Pimentel

Niterói – Rio de Janeiro
2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

B238a Barbosa, Rayan Tadeu Corrêa de Moraes
Análise dos efeitos decorrentes da latência de posicionamento e desvios de offsets angulares em levantamentos batimétricos com MBES. / Rayan Tadeu Corrêa de Moraes Barbosa ; Arthur Ayres Neto, orientador ; Vitor Bravo Pimentel, coorientador. Niterói, 2019.
125 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica)-
Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências,
Niterói, 2019.

1. Ecobatímetro Multifeixe. 2. Erros. 3. Offsets Lineares.
4. Patch Test. 5. Produção intelectual. I. Ayres Neto,
Arthur, orientador. II. Bravo Pimentel, Vitor, coorientador.
III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de
Geociências. IV. Título.

CDD -

Bibliotecária responsável: Yolle Vacariuc Bittencourt - CRB7/6040

BANCA EXAMINADORA

Arthur Ayres Neto, PhD
Universidade Federal Fluminense – UFF

Hélio Heringer Villena, PhD
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Gilberto Dias, PhD
Universidade Federal Fluminense – UFF

Aprovado em 16/12/2019.

*Agradeço e dedico este trabalho aos meus pais e todos aqueles que me apoiaram.
Esta monografia é a prova de que todo seu investimento e dedicação valeram a pena.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a minha família por todo suporte e apoio durante todo o meu caminho;

Ao meu orientador Arthur Ayres Neto pela sua prontidão, orientação e conhecimento acadêmico;

Ao meu coorientador Vitor Bravo Pimentel por todo seu apoio, motivação e conhecimento;

Ao LAGEMAR, que me proporcionou os primeiros contatos com essa área incrível de estudos;

E a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente para minha formação em geofísica.

RESUMO

A necessidade de informação leva ao constante desenvolvimento da tecnologia. Técnicas cada vez mais precisas e rápidas são criadas com a finalidade de se obter dados que possam modelar e mapear a morfologia de lugares antes impossíveis de serem estudados, como o fundo do oceano por exemplo. Para suprir esta demanda foram desenvolvidas desde métodos diretos e arcaicos, como o fio de prumo e a regra graduada, até métodos indiretos, como os sistemas de sondagem acústicos capazes de mapear e modelar vastas áreas em poucas horas. O sistema de sondagem acústica mais utilizado atualmente é o sistema multifeixe. Esse sistema, quando integrado com sistemas de movimento e posicionamento, é capaz de entregar dados precisos de profundidade em um curto período de tempo. Com estes dados, torna-se possível desenvolver diversos produtos que podem por exemplo auxiliar na confecção de cartas náuticas, na engenharia submarina, no estudo arqueológico e na exploração de recursos minerais. Contudo, para que os dados sejam precisos e verossímeis, é necessário proceder a calibração de seus sistemas, em um processo denominado *patch test*. Este trabalho objetiva explicar e demonstrar a importância da realização do *patch test* para um levantamento batimétrico de qualidade. Desta forma, serão realizadas simulações e análises de erros angulares do alinhamento do transdutor, assim como atraso de tempo entre os sensores.

Palavras chave: Ecobatímetro Multifeixe, *Erros*, *Offsets Angulares*, *Patch Test*.

ABSTRACT

The need for information leads to the constant development of technology. Increasingly accurate and fast techniques are created with the purpose of obtaining data that can model and map the morphology of places that were previously impossible to study, such as the ocean floor for example. To meet this demand, direct and archaic methods, such as the plumb line and graduated rule, were developed, as well as indirect methods, such as acoustic sounding systems capable of mapping and modeling vast areas in a few hours. The most used acoustic sounding system today is the multibeam echosounder. This system, when integrated with motion and positioning instruments, is capable of delivering accurate depth data in a short period of time. With these data, it becomes possible to develop various products to assist in the production of nautical charts, in underwater engineering, archaeological study and in the exploration of mineral resources. However, for the data to be accurate and credible, it is necessary to calibrate your systems, in a process called patch test. In order to explain and demonstrate the importance of carrying out the Patch test for a precise bathymetric survey. Will be performed simulations and analysis of transducer alignment errors and time delay between the sensors.

Keywords: Multibeam, *Patch test*, Bathymetry, Acoustics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propagação de um pulso acústico a partir de uma fonte representada pelo ponto P próximo à superfície de um meio homogêneo (Fonte: fundamentals of Geophysics, William Lowrie, 2004).	19
Figura 2 - O movimento das partículas em uma onda P unidirecional transmite energia como uma sequência de (R) rarefações e (C) condensações Fonte: Adaptado de Lowrie, 2014.	19
Figura 3 - Distorção causada pela passagem de uma onda S unidirecional (Lowrie, 2017).	20
Figura 4 - Lei de Snell e o Princípio da refração (IHO, 2005).	21
Figura 5- Representação da decomposição da onda transmitida ao atingir o fundo oceânico. Fonte: L3-Communications adaptado 2000.....	21
Figura 6 - Alterações na posição medida do eco devido às variações de velocidade do som nos estratos da coluna d'água. Fonte: L3-Communications adaptado 2000.	22
Figura 7 - Swaths arqueados por erro de cálculo da velocidade do som (DHN, 2014).	24
Figura 8 - Esquema das contribuições de ruído e intensidade do sinal durante as suas etapas de transmissão, propagação, reflexão e recepção.	26
Figura 9 - Representação da geometria dos feixes adaptado de DA CONCEIÇÃO, 2009.	27
Figura 10 - Os movimentos translacionais e rotacionais relativos aos eixos X, Y e Z de uma embarcação (PAULO E HOLMES, 2011).	31
Figura 11 - Procedimento de aquisição para calibração de latência. a) Vista de cima das duas linhas e em cinza seção para análise. b) Seção longitudinal representando a separação entre os dois perfis em relação ao fundo real (IHO, 2005)	35
Figura 12 - Visualização do offset de latência antes e depois da correção (HOY & KISSINGER , 2010).	35
Figura 13 - Procedimento de aquisição para calibração de roll. a) Vista de cima das linhas e em cinza seção para análise. b) Seção transversal representando a separação entre os dois perfis em relação ao fundo real (IHO, 2005).	36
Figura 14 - Visualização do offset de roll antes e depois da correção (HOY & KISSINGER , 2010).	37
Figura 15 - Procedimento de aquisição para calibração de pitch. a) Vista de cima das linhas e em cinza a seção para análise. b) Seção longitudinal representando a separação entre os dois perfis em relação ao fundo real (IHO, 2005).	38
Figura 16 - Visualização do offset de pitch antes e depois da correção (Hoy & Kissinger , 2010).	38
Figura 17 - Procedimento de aquisição para calibração de yaw. Vista de cima representando as linhas, localização do artefato e a visualização do artefato para cada fiada (IHO, 2005)	40

Figura 18 - Visualização do offset de yaw antes e depois da correção (HOY & KISSINGER , 2010).	41
Figura 19 - Carta batimétrica da região sul da Baía de Guanabara.....	42
Figura 20 - Equipamentos utilizados: a) EM 2040C; b) AML Minos X; c) DGNSS 3710;	43
Figura 21 -Workflow sugerido pela CARIS para o processamento de dados batimétricos	45
Figura 22 - Representação das 8 linhas levantadas. A fiada de cor diferente foi realizada a uma velocidade de 2 nós enquanto as demais foram realizadas à 4 nós.....	47
Figura 23 - Representação da superfície batimétrica bruta criada utilizando o algoritmo CUBE e o atributo Shoal.....	50
Figura 24 - Localização das 3 Regiões de destaque identificadas na superfície.	50
Figura 25 - Representação da Região 1. a) Gradiente da borda do canal principal da Baía de Guanabara com profundidade entre 10 e 12 metros e possui em torno de 30 m. b) Esta região é imageada pelas linhas 0,1 (sentido contrário às demais), 2,4 e 6 (em vermelho, possui menor velocidade).	51
Figura 26 - Representação da Região 2 a) Marcas de arraste e uma pequena depressão na região mais profunda do dado entre 20 e 22 metros. b) Esta região é imageada pelos feixes externos das linhas 0 e 5.	52
Figura 27 - Representação da Região 2. a) Um artefato de 2 metros de diâmetro localizado em uma região mais plana na superfície. b) Este artefato é imageado pelos feixes centrais das linhas 1 (Sentido contrário às demais), 6 (em vermelho, possui menor velocidade) e 4.	52
Figura 28 - Representação das linhas utilizadas para o patch teste de latência. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de latência no dado.	53
Figura 29 - Visualização do slice das linhas 4 (azul) e 6 (vermelha) na ferramenta Calibration do Subset Editor. Não foi observado atrasos entre os sensores.	53
Figura 30 - Representação das linhas 4 e 1, utilizadas para o patch teste de roll. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em roll no dado.....	54
Figura 31 - Visualização do slice das linhas 1 (vermelho) e 4 (amarelo) na ferramenta Calibration do Subset Editor. a) Cruzamento das linhas 1 e 4 identificado. b) Desvio corrigido com a inserção de +0.03°	55
Figura 32 - Representação das linhas 4 e 0, utilizadas para o patch teste de yaw. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em yaw no dado.	56
Figura 33 - Visualização do slice das linhas 4 (vermelha) e 0 (azul) na ferramenta Calibration do Subset Editor.	56
Figura 34 - Representação das linhas 4 e 1, utilizadas para o patch teste de pitch. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em pitch.....	57
Figura 35 - Visualização do slice das linhas 1 (vermelho) e 4 (amarelo) na ferramenta Calibration do Subset Editor. Não foi observado desvios em pitch.....	57

<i>Figura 36 - Representação das linhas 4 e 1, utilizadas para o patch teste de pitch. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em pitch.</i>	58
Figura 37 - Visualização do slice das linhas 1 (azul) e 4 (roxo) na ferramenta Calibration do Subset Editor. a) Descasamento das linhas 1 e 4 identificado. b) Desvio corrigido com a inserção de +0.5°.	58
Figura 38- Representação das superfícies após filtragem. a) Descalibrada b) Calibrada.	59
Figura 39 - Superfície diferença entre a Superfície Calibrada Filtrada e a Superfície Descalibrada Filtrada.	61
Figura 40 - Gráfico de Densidade das diferenças de profundidade entre a superfície Calibrada e Descalibrada.	62
Figura 41 - Visualização do descasamento das linhas 6 (ciano escuro). 4 (ciano claro) e 1 (roxo). a) Latência calibrada (0.0s). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 0.1s. c) Descasamento evidente das linhas, Nível 2 = 0.5s. d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 1.0s.	64
Figura 42 - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de Latência. a) Nível 1 = 0,1 s. b) Nível 2 = 0,5 s. c) Nível 3 = 1.0 s.	65
Figura 43 - Visualização da Região 1 e suas deformações com o aumento do nível de latência. a) Nível 1 = 0,1 s. b) Nível 2 = 0,5 s. c) Nível 3 = 1.0 s.	67
Figura 44 - Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 1.0 s latência e exagero vertical de 5 vezes.	67
Figura 45 - Visualização do local onde foi realizado o perfil de análise de Latência na Região 1.	68
Figura 46 - Perfil realizado sobre a estrutura da Região 1 em cada superfície.	68
Figura 47 - A região demarcada em vermelho evidencia a nuvem de pontos selecionados pelo Atributo Shoal na confecção da estrutura.	69
Figura 48 - Representação da deformação das superfícies com o aumento do tempo de atraso entre os sistemas de navegação e aquisição. a) Latência calibrada. b) Nível 1 = 0.1 s. c) Nível 2 = 0.5 s. d) Nível 3 = 1.0 s.	70
Figura 49 - Visualização do local onde foi realizado o slice do subset na figura 50 e o perfil da figura 51.	71
Figura 51 - Representação Gráfica do perfil realizado na Figura 48.	73
Figura 52 - Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada. a) Nível 1 = 0.1 s, b) Nível 2 = 0.5 s, c) Nível 3 = 1.0 s.	74
Figura 53 - Gráfico de Densidade das diferenças de profundidade entre a superfície Calibrada e as superfícies com atraso induzido.	75
Figura 54 - Visualização do descasamento das linhas 6 (roxo), 4 (laranja) e 1 (verde). a) Roll calibrada (0.03°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 0.08°.	c)

Descasamento das linhas, Nível 2 = 0.13°.	d)
Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 0.53°.	77
Figura 55 - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de roll. a) Nível 1 = 0.05 °. b) Nível 2 = 0,1 °. c) Nível 3 = 0.5°.	78
Figura 56 - Visualização Dos degraus gerados com o aumento do desvio em roll. a) Roll calibrada (0.03°).	b) Nível
1= 0.08°. c) Nível 2 = 0.13°. d) Nível 3 = 0.53°	80
Figura 57 - Visualização da inclinação dos swaths das linhas 6 (roxo), 4 (laranja), 1 (verde) e 0 (azul) causada pelo incremento em roll. As setas amarelas apontam para linhas realizadas no mesmo sentido, enquanto a vermelha aponta para a de sentido contrário. a) Roll calibrada (0.03°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 0.08°. c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 0.13°. d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 0.53°.	82
Figura 58 - Local, direção e sentido dos perfis realizados para análise do comportamento da superfície com o aumento do desvio em roll. A seta amarela representa o Perfil da figura 59 e a seta branca o perfil da figura 60.	82
Figura 59 - Perfil realizado sobre os feixes centrais da linha de sondagem, ortogonal ao canal e paralelo as linhas em cada superfície.	83
Figura 60 - Perfil realizado sobre os feixes externos da linha de sondagem, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície.	84
Figura 61 - Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 0.53° de roll e exagero de 5 vezes.	84
Figura 62 - Visualização dos efeitos gerados com o aumento do desvio em roll em uma estrutura localizada sobre os feixes externos de duas linhas reciprocas e paralelas com total cobertura do artefato. a) Roll calibrada (0.03°). b) Nível 1 = 0.08°. c) Nível 2 = 0.13°. d) Nível 3 = 0.53°	85
Figura 64 - Visualização da superposição de 200% do artefato e a evolução do descasamento das linhas 0 (azul) e 5 (verde) (reciprocas e paralelas) com o aumento do desvio em roll. a) Roll calibrada (0.03°). b) Nível 1 = 0.08°. c) Nível 2 = 0.13°. d) Nível 3 = 0.53°.	87
Figura 65 - Perfil realizado sobre o artefato localizado nos feixes externos das linhas 0 e 5, evidenciando o deslocamento vertical descendente da estrutura com o aumento do desvio de roll.	88
Figura 66- Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada em roll. a) Nível 1 = 0.05°, b) Nível 2 = 0.1°, c) Nível 3 = 0.5 °	89
Figura 67 - Gráfico de Densidade do Resíduo de profundidade causado pelo incremento de roll a cada nível.	90
Figura 68 - Visualização do descasamento das linhas 4 (roxo) e 0 (azul) durante a escolha dos níveis de yaw inseridos. a) Yaw calibrada (0°). b) Primeira mudança visualmente identificável,	

Nível 1 = 1.0°. c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 3.0°. d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 6.0°.....	92
Figura 69 - - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de Yaw. a) Nível 1 = 1.0 °. b) Nível 2 = 3.0 °. c) Nível 3 = 6.0 °.....	93
Figura 70 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em yaw. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 70 e Perfil da Figura 72.....	94
Figura 71 - Visualização do descasamento das linhas 6 (laranja), 4 (azul) ,2 (roxo) e 1 (verde) durante a escolha dos níveis de yaw inseridos. a) Yaw calibrada (0°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 1.0°. c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 3.0°. d) Exagero no descasamento das linhas Nível 3 = 6.0°.....	95
Figura 72 Visualização das deformações geradas com o aumento do desvio de yaw na região da borda do canal da Baía de Guanabara. a) Yaw calibrada (0.0°). b) Nível 1 = 1.0°. c) Nível 2 = 3.0°. d) Nível 3 = 6.0°.....	97
Figura 73 - Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 6.0° de yaw e exagero de 5 vezes.	97
Figura 74 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em yaw.	98
Figura 75 - Visualização das dos efeitos gerados com o aumento da inclinação em yaw em uma estrutura localizada sobre os feixes externos de duas linhas reciprocas e paralelas com total cobertura do artefato. a) yaw calibrada (0.0°). b) Nível 1 = 1.0°. c) Nível 2 = 3.0 °. d) Nível = 6.0°.	100
Figura 76 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em yaw. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 75 e Perfil da Figura 76.....	100
Figura 77 Visualização da detecção do artefato pelas linhas 0 (azul) e 5 (verde) em diferentes localizações no subset editor com o aumento do desvio em Yaw. a) Yaw calibrada (0.0°). b) Nível 1 = 1.0°. c) Nível 2 = 3.0°. d) Nível 3 = 6.0°.....	102
Figura 78 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em yaw.	103
Figura 79 - Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada em yaw. a) Nível 1 = 1.0°, b) Nível 2 = 3.0 °, c) Nível 3 = 6.0 °.....	104
Figura 80 - Gráfico de Densidade do Resíduo de profundidade causado pelo incremento de yaw a cada nível.	105
Figura 81 - Visualização do descasamento das linhas 1 (laranja) e 4 (roxo) durante a escolha dos níveis de pitch inseridos. a) Pitch calibrado (0.5°). b) Primeira mudança visualmente identificável,	

Nível 1 = 1.0°. c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 2.0°. d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 4.0°.....	107
Figura 82 - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de pitch. a) Nível 1 = 1.0 °. b) Nível 2 = 2.0 °. c) Nível 3 = 4.0 °	108
Figura 83 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em pitch. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 84 e Perfil da Figura 87.....	109
Figura 84 Visualização do descasamento das linhas 6 (roxo), 4 (azul) e 1 (laranja) e, durante a escolha dos níveis de Pitch inseridos. a) Pitch calibrada (0.5°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 1.0°. c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 2.0°. d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 4.0°.	110
Figura 85 - Visualização das deformações geradas com o aumento do desvio de Pitch na região da borda do canal da Baía de Guanabara. a) Pitch calibrada (0.5°). b) Nível 1 = 1.0°. c) Nível 2 = 2.0°. d) Nível 3 = 4.0°.....	111
Figura 86 Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 4.0° de Pitch e exagero de 5 vezes.	112
Figura 87 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em pitch.....	112
Figura 91 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em pitch.....	116
Figura 92 - Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada em Pitch. a) Nível 1 = 1.0° b)Nível 2 = 2.0°, c)Nível 3 = 4.0 °.....	117
Figura 93 - Gráfico de Densidade do Resíduo de profundidade causado pelo incremento de pitch a cada nível;	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos de acurácia horizontal e Vertical para cada ordem de levantamento.	30
Tabela 2 - Configuração de aquisição e calibração dos offsets (IHO,2005; EIVA, 2009; RESON INC.2000)	34
Tabela 3 - Configuração das linhas, seção de visualização e topografia do levantamento.....	47
Tabela 4 - Valores de correção obtidos no Patch test.	59
Tabela 5 - Tabela dos níveis de Latência inseridos.....	63
Tabela 6 - Tabela dos níveis de roll inseridos	76
Tabela 7 - Tabela dos níveis de yaw inseridos.....	91
Tabela 8 -Tabela dos níveis de pitch inseridos	106

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	15
1.1	A IMPORTÂNCIA DA HIDROGRAFIA E DOS LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS	15
1.2	MEDIÇÃO DE PROFUNDIDADE	16
1.3	IMPORTÂNCIA DE SE REALIZAR UM <i>PATCH TEST</i>	17
1.4	OBJETIVO DA PESQUISA	18
2.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	FUNDAMENTOS SOBRE ACÚSTICA SUBMARINA	18
2.1.1	PROPAGAÇÃO DE ONDAS	18
2.1.2	VELOCIDADE DO SOM NA ÁGUA	21
2.1.3	INTENSIDADE ACÚSTICA	24
2.2	EQUAÇÃO DO SONAR	25
2.3	SONAR MULTIFEIXE	26
2.3.1	GEOMETRIA DO SONAR MULTIFEIXE	27
2.3.2	CÁLCULO DA PROFUNDIDADE	27
2.3.3	SENSORES DE MOVIMENTO E POSICIONAMENTO	28
2.4	<i>PATCH TEST</i>	32
2.4.1	CALIBRAGEM DOS ATRASOS DE SINCRONIA, LATÊNCIA	34
2.4.2	CALIBRAGEM DOS DESVIOS DE <i>OFFSETS</i> DE <i>ROLL</i>	36
2.4.3	CALIBRAGEM DOS DESVIOS DE <i>OFFSETS</i> DE <i>PITCH</i>	37
2.4.4	CALIBRAGEM DOS DESVIOS DE <i>OFFSETS</i> DE <i>YAW</i>	39
3.0	ÁREA DE ESTUDO	41
4.0	METODOLOGIA	42
4.1	EQUIPAMENTOS E DADOS UTILIZADOS	42
4.2	CÁLCULO DA VELOCIDADE DO SOM	43
4.3	CÁLCULO DA MARÉ	43
4.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS	44
4.5	CRIAÇÃO DE SUPERFÍCIES COM ERRO INDUZIDO	48
4.5.1	CRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DA INTENSIDADE DOS ERROS UTILIZADOS	48
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	SUPERFÍCIE BRUTA E REGIÕES DE ANÁLISE	49
5.2.1	<i>PATCH TEST</i> DE LATÊNCIA	53
5.2.2	<i>PATCH TEST</i> DE <i>ROLL</i>	54
5.2.3	<i>PATCH TEST</i> DE <i>YAW</i>	55
5.2.4	<i>PATCH TEST</i> DE <i>PITCH</i>	56
		13

5.2.5	VALORES CORRIGIDOS DO <i>PATCH TEST</i>	59
5.3	DIFERENÇA ENTRE A SUPERFÍCIE CALIBRADA E DESCALIBRADA	59
5.4	ANÁLISES DA INFLUÊNCIA INDIVIDUAL DOS DESVIOS NOS OFFSETS ANGULARES E LATÊNCIA ENTRE OS SISTEMAS	63
5.4.1	ANÁLISE DE LATÊNCIA	63
5.5.2	ANÁLISE DE <i>ROLL</i>	76
5.4.3	ANÁLISE DE <i>YAW</i>	91
5.4.4	ANÁLISE DE <i>PITCH</i>	106
6.0	CONCLUSÕES	119
7.0	ANEXOS	120
7.1	ANEXO 1: DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA	120
7.2	ANEXO 2: CADERNETA DE SONDAGEM	121
8.0	REFERÊNCIAS	122

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 A IMPORTÂNCIA DA HIDROGRAFIA E DOS LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

Em um mundo onde a maior parte dos interesses político-econômicos dependem de alguma forma dos rios e mares, sejam para transporte de cargas, exploração de recursos, proteção do território ou gestão do ambiente, o constante estudo e a qualidade do conhecimento destas áreas se tornam de extrema importância (BLONDEL, 2012). Porém a investigação direta destes ambientes submersos é, na maioria das vezes, muito cara e demorada. Por conta disso, foi necessário o desenvolvimento de técnicas que, de alguma forma, determinassem a espessura da coluna d'água, para melhor descrição da morfologia do fundo marinho e suas características geológicas (SOUZA, 2015).

Ao dissertar sobre levantamento hidrográfico, antes de tudo, é preciso se valer de uma definição clara do que é considerado hidrografia. Pode-se definir hidrografia, de modo geral, como o *“ramo das ciências aplicadas que lidam com a mensuração e a descrição dos atributos físicos de ambientes navegáveis da superfície da Terra em conjunto com suas áreas costeiras, tendo como objetivo principal a navegação, mas podendo se estender a atividades de proteção ambiental, investigação e serviços de previsão”*(IHO Pub. S-32 - Modificado, 1994).

Seguindo esta definição, podemos descrever os levantamentos hidrográficos como medições, diretas ou indiretas, que lidam com a caracterização do fundo marinho e da coluna d'água em rios, lagos e oceanos. Seu principal objetivo é obter dados para a compilação das cartas náuticas, com ênfase nas estruturas que afetem a segurança da navegação (transporte Marítimo, navegação de recreio e turismo) (Sánchez, 2010). Podem também ser aplicada à delimitação de fronteiras e defesa marítima e, principalmente, a infraestrutura nacional de dados espaciais (OHI Pub. M-2 2016).

Em uma visão mais atual, pode-se incluir maior diversidade de competências à hidrografia tais como: medição de marés, de correntes, da gravidade, do magnetismo terrestre e determinação das propriedades físicas e químicas da água. Essas extensas bases de dados acumuladas ao longo dos anos pelos serviços hidrográficos são de considerável valor econômico na assistência à gestão e exploração dos recursos marinhos naturais (TANG et al., 2018). Os exemplos de aplicabilidades destes dados são o estudo de áreas costeiras e oceânicas para exploração de depósitos sedimentares, depósitos minerais e, em especial, hidrocarbonetos. Dentre os levantamentos que contribuem para essa gama de dados tem-se: os de caracterização da morfologia

marinha, da segurança da navegação, de implementação de plataformas de poços de produção e de transporte de mercadorias perigosas (BLONDEL, 2012). Para isso, os dados batimétricos, maregráficos e meteorológicos levantados constituem um elemento fundamental para o desenvolvimento da indústria de exploração em ambientes marinhos (ETTER, 2018).

Como exemplificação da importância da realização de um levantamento hidrográfico de qualidade, temos o caso do transporte marítimo. Numa visão internacional, cerca de 80% do comércio depende dele (Ferreira, I, O, 2013). O sucesso destas linhas de comércio depende da eficiência e segurança na carga e descarga das embarcações nos portos. Contudo, portos em todo o mundo não possuem um conhecimento profundo sobre as características locais, como profundidade e possíveis artefatos no fundo marinho que possam vir a onerar suas operações. Quando existe a impossibilidade de um navio atracar, devido à profundidade de seu calado, por exemplo, se faz necessário a utilização de embarcações auxiliares, conseqüentemente aumentando o custo dessas mercadorias e sensibilizando assim o comércio local (IHO, 2005). A economia de tempo e dinheiro resultante da utilização de rotas mais curtas e profundas, previamente mapeadas, além da possibilidade de se receber mais e maiores navios influenciam de forma positiva no desenvolvimento da indústria e comércio nacionais.

É extremamente complexo quantificar os benefícios político-econômicos decorrentes de um programa hidrográfico, inclusive diversos estudos realizados por estados-membro da OHI (Organização Hidrográfica Internacional) apontam que o custo-benefício desses programas são da ordem de 1:10 (IHO, 2005) o que destaca a importância da hidrografia em estudos desta magnitude.

1.2 MEDIÇÃO DE PROFUNDIDADE

A evolução dos equipamentos utilizados para a medição de profundidade tem avançado bastante nas últimas décadas, principalmente vindo do avanço da tecnologia de sonar durante a segunda guerra mundial (BLONDEL, 2012). Antes dos primeiros ecobatímetros serem criados através dos sonares militares, uma tecnologia muito mais simples era utilizada para realizar as medições de profundidade, como o fio de prumo e a régua graduada. Estes equipamentos foram os primeiros utilizados para medições diretas de profundidade e datam suas primeiras atividades da época do Egito antigo (RAMOS, 2010).

Atualmente, três métodos são comumente utilizados para medições de profundidade, eles são conhecidos como: Sondagem de feixe simples, Sondagem de multifeixe e sistemas de sondagem de lasers aerotransportados (também conhecidos como *LIDAR*) (SOUZA, 2005). Estes métodos exigem um conhecimento específico sobre o meio físico, que em conjunto com diversos equipamentos, sensores e softwares apropriados para as tarefas, conseguem, com exatidão, cumprir os requisitos técnicos para, por exemplo, confeccionar documentos náuticos (Sánchez, 2010).

O primeiro tipo de sondador sonoro utilizado foi o sondador de feixe simples ou monofeixe, derivado da tecnologia dos sonares militares. Esta técnica é baseada no cálculo do tempo entre a emissão e o retorno de uma onda sonora após atingir um alvo (KUNZIG, 1999). Como o ângulo de incidência do feixe com o fundo marinho pode ser considerado ortogonal, basta ter calculado o tempo de viagem e conhecer a média da velocidade do som n'água para que seja possível mensurar a profundidade local. Este equipamento foi muito utilizado em diversos estudos desde os meados do século XX (SÁNCHEZ, 2010). Porém, com a necessidade de levantamentos com melhor resolução e maior cobertura por tempo, foi necessário o desenvolvimento de uma nova técnica. Uma que não medisse a profundidade apenas em um único ponto abaixo do barco, mas que tivesse uma ampla cobertura do fundo marinho, de forma que fosse detentora da capacidade de detectar objetos menores e cobrisse maiores áreas em menor tempo. Para isso foi desenvolvida a técnica de sondagem multifeixe (Ferreira I.O. et al., 2016). Os ecobatímetros multifeixe possuem, normalmente, dois transdutores separados para transmissão e recepção. O sistema emite um conjunto de feixes com direções pré-definidas, em forma de leque, que cobrem uma faixa de largura variável do fundo do oceano, de acordo com a profundidade e o ângulo de abertura dos transdutores. Atualmente, os ecobatímetros apresentam um alto ganho em resolução e acurácia, tanto em termos planimétricos quanto altimétricos (profundidade), além de uma grande densidade de dados, concedendo uma cobertura quase total do fundo do mar (KONGSBERG GEOACOUSTICS LTD, 2014). Por conta disso, são mais indicados para levantamentos que visem o desenvolvimento e atualização de documentos náuticos (DHN NORMAN 25 Rev2, 2017).

1.3 IMPORTÂNCIA DE SE REALIZAR UM *PATCH TEST*

Normalmente, se requer uma medição precisa do fundo marinho. No entanto, muitos levantamentos podem conter erros que prejudiquem a qualidade dos mesmos.

Geralmente esses erros são associados a má calibração, seja relacionada ao sensor de movimento, ao giroscópio, ao alinhamento do transdutor, à atrasos no tempo ou cálculo errado de maré e perfil de velocidade do som na água. Estes erros mascaram, na superfície sondada, a real profundidade local e a localização dos possíveis artefatos (Hoy & Kissinger, 2010).

Para se adquirir dados precisos sobre o fundo marinho através de medidas feitas por ecobatímetros multifeixe, é necessário identificar esses desalinhamentos e corrigi-los antes das atividades de aquisição e processamento dos dados. Conhecer exatamente o alinhamento entre o transdutor do equipamento e o sistema de referência da embarcação (IHO, 2005) é um dos principais fatores para adquirir dados com alta precisão. No entanto, como é muito difícil obter um alinhamento perfeito, e como os valores de desalinhamento são muito pequenos e difícil de serem determinados visualmente, foi desenvolvido um procedimento de calibragem denominado "*patch test*". Na prática, esse *offset* é medido e inserido no sistema de aquisição/processamento (Reson Inc. 2000).

O procedimento envolve a coleta de dados em determinadas situações de rumo e velocidade de navegação da embarcação, assim como de tipos de terreno de forma que os desalinhamentos se tornem mais fáceis de serem detectados (Hoy & Kissinger, 2010). Após a coleta de dados, os mesmos são analisados, normalmente, de duas formas: pela visualização da superfície gerada e pela análise comparativa das linhas por meio da visualização de gráficos (método mais comum) (Reson Inc. 2000).

1.4 OBJETIVO DA PESQUISA

Este trabalho objetiva explicar e demonstrar a importância da realização do *patch test* para um levantamento batimétrico de qualidade. Desta forma, serão realizadas simulações e análises dos desvios angulares do alinhamento do transdutor, assim como atraso de tempo entre os sensores.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FUNDAMENTOS SOBRE ACÚSTICA SUBMARINA

2.1.1 PROPAGAÇÃO DE ONDAS

Para entender como os ecobatímetros multifeixe funcionam, se faz necessário compreender alguns conceitos primordiais, como a propagação de ondas acústicas e a velocidade do som na água.

Ondas acústicas são ondas mecânicas ou elásticas. Elas se originam da liberação de energia em um determinado ponto e podem ser de dois tipos: longitudinais ou transversais. As ondas longitudinais ou compressionais, também conhecidas como ondas primárias (P), propagam-se partindo da sua origem (sua fonte) e se afastam de forma divergente (Lurton, 2002) (Figura 1).

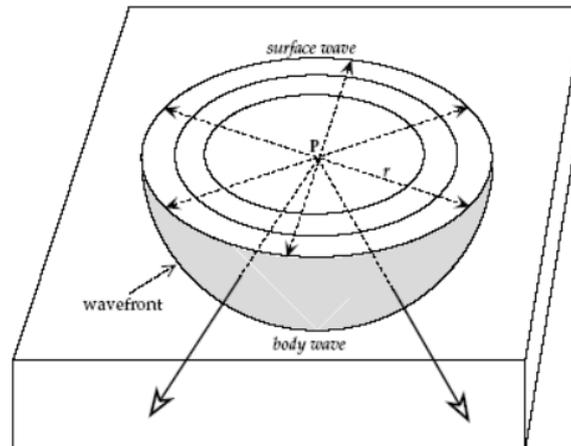


Figura 1 - Propagação de um pulso acústico a partir de uma fonte representada pelo ponto P próximo à superfície de um meio homogêneo (Fonte: fundamentals of Geophysics, William Lowrie, 2004).

O seu deslocamento ocorre através da compressão e dilatação das partículas do meio, no eixo paralelo a direção de movimento da onda (Figura 2). Esse tipo de propagação só acontece devido às propriedades elásticas do meio, logo esse tipo de onda não se propaga no vácuo, necessitando assim de um meio com densidade (sólido, líquido ou gasoso) para se propagar (KNIGHT R. D, 2009).

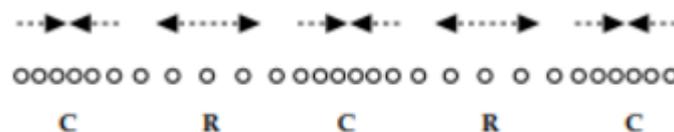


Figura 2 - O movimento das partículas em uma onda P unidirecional transmite energia como uma sequência de (R) rarefações e (C) condensações (Fonte: Adaptado de Lowrie, 2014).

Nas ondas transversais ou cisalhantes, também conhecidas como ondas secundárias (S), o movimento ocorre no plano vertical da frente de onda, ou seja, perpendicularmente à direção de propagação da onda. A sua passagem faz com que os planos verticais do meio, paralelos à frente de onda, movimentam-se para “cima e para baixo” variando assim a forma das partículas (Figura 3). A propagação depende apenas da rigidez do meio, como a rigidez em meios fluidos é zero, não há este tipo de propagação. Logo, neste trabalho, estudaremos apenas as ondas P (Lowrie, 2017).

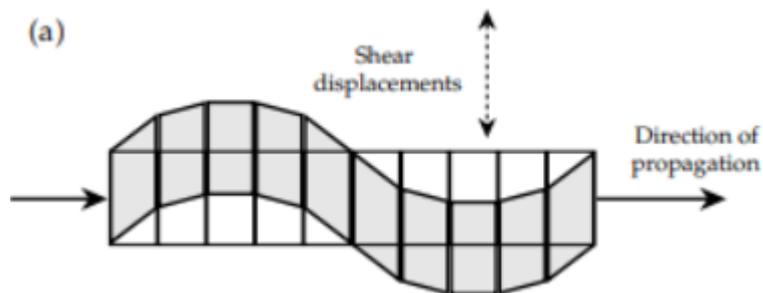


Figura 3 - Distorção causada pela passagem de uma onda S unidirecional (Lowrie, 2017).

Quando uma onda propaga de um meio para outro, ocorrem 3 tipos de eventos: atenuação, reflexão e refração/transmissão. A atenuação é a perda de energia na propagação de uma onda acústica devido a absorção, espalhamento esférico e dispersão por conta das partículas existentes na coluna de água. Já reflexão, que depende do ângulo em que a onda incide, é porção da mesma que retorna com o mesmo ângulo incidente, ao encontrar uma interface que separa meios de diferentes impedâncias acústicas. E, por último, refração é o processo pelo qual a direção de propagação da onda acústica se altera, decorrente da variação da velocidade de propagação do som ao longo do meio em que se propaga, ou quando a energia acústica passa através da interface entre dois meios, apresentando uma descontinuidade na velocidade de propagação do som entre eles (KNIGHT R. D, 2009).

De acordo com a Lei de Snell (equação 1, Figura 4), se o meio 1 tiver velocidade c_1 maior que a velocidade c_2 do meio 2, a direção de propagação da energia é alterada e o ângulo de refração (θ_2) será menor que o ângulo de incidência (θ_1). Ao invés, se c_1 for menor que c_2 , o ângulo de transmissão será maior que o ângulo de incidência. Para incidência normal não ocorre refração.

$$c_1 \cdot \sin(\theta_1) = c_2 \cdot \sin(\theta_2) \quad (1)$$

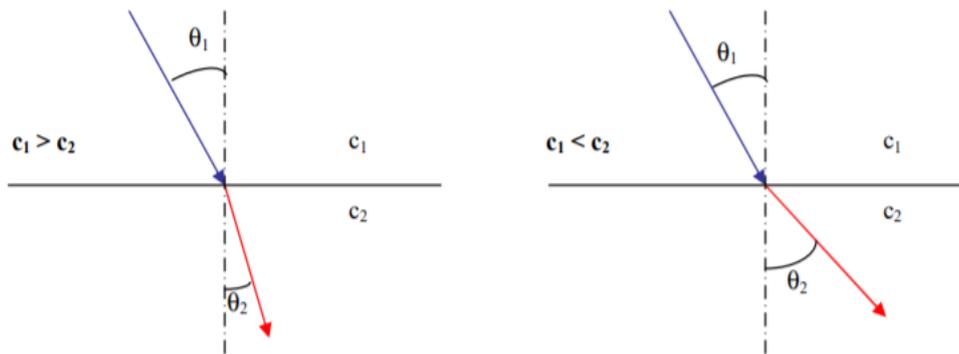


Figura 4 - Lei de Snell e o Princípio da refração (IHO, 2005).

Na prática, cada vez que uma onda se propaga de um meio para o outro, ela sofre atenuação. Parte de sua energia é refletida e parte é refratada (Figura 5). Em condições normais, a razão entre a energia acústica refletida e a energia acústica transmitida depende principalmente das diferenças entre impedâncias acústicas do meio, da rugosidade do fundo e da frequência acústica (LOWRIE, 2004).

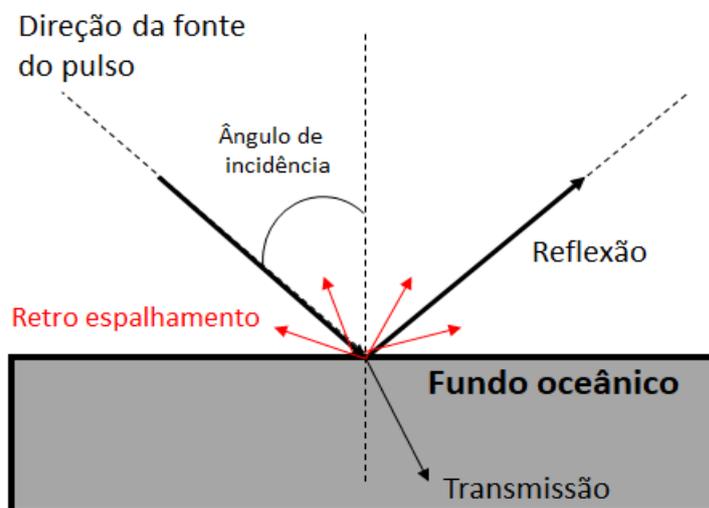


Figura 5- Representação da decomposição da onda transmitida ao atingir o fundo oceânico. Fonte: L3- Communications adaptado 2000.

2.1.2 VELOCIDADE DO SOM NA ÁGUA

As variações de velocidade do som na água, por mais que consideradas pequenas (entre 1450 m/s a 1560 m/s), influenciam significativamente o tempo de propagação das ondas acústicas ao longo da coluna d'água (MATIAS, 2010).

A velocidade de uma onda (c) é descrita pelo produto entre o comprimento e a frequência da onda. A distância física entre duas frentes de pressão, imediatas, de uma onda que se propaga, é chamado de comprimento de onda (λ). O número destas frentes de pressão que passam por um determinado ponto estacionário por unidade de tempo é definido como frequência (f). A frequência da onda é uma propriedade intrínseca a ela e

não se altera, independente do meio. A velocidade da onda varia de acordo com as propriedades de compressibilidade e densidade do local. A compressibilidade é obtida pela relação entre pressão de confinamento/deformação volumétrica resultante, também definida como módulo de incompressibilidade ou módulo de volume (k) (LOWRIE 2004).

$$c = \sqrt{(k/\rho)} \quad (2)$$

Os parâmetros de temperatura, salinidade e pressão da água, em conjunto, definem a densidade característica do meio (ρ). Esses parâmetros variam de acordo com diversos fatores ambientais, como marés, profundidade (Figura 6), influxo de rios, estações do ano, latitude da região e ação de ondas e ventos, que são considerados para se calcular a velocidade do som na coluna d'água (ESWARD & ABLITT, 2000).

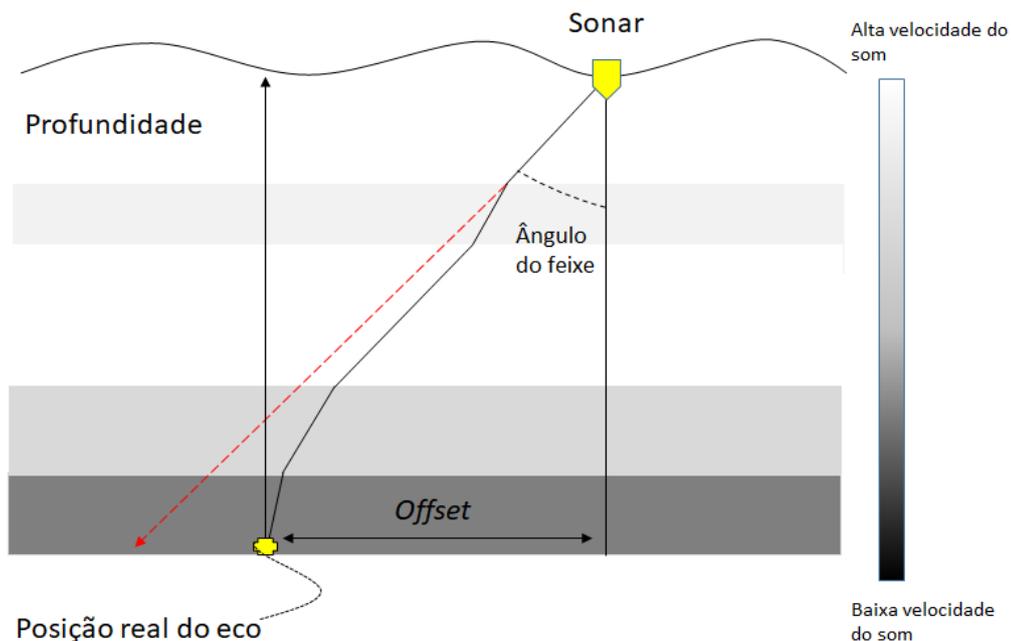


Figura 6 - Alterações na posição medida do eco devido às variações de velocidade do som nos estratos da coluna d'água. Fonte: L3-Communications adaptado 2000.

A velocidade do som pode ser mensurada diretamente *in situ* de duas formas: Utilizando-se de instrumentos especiais, como o perfilador de velocidade do som (SVP) ou através de equações empíricas com os dados obtidos por um CTD.

O SVP possui um sensor de pressão para medir a profundidade e um par transdutor/refletor separados por uma distância d . A velocidade de propagação do som é calculada através da equação $c = 2*d/\Delta t$, onde Δt corresponde ao intervalo de tempo do duplo trajeto entre o transdutor e o refletor (o modus operandi é bem similar ao realizado na medição de profundidade efetuada pelos ecobatímetros). Atualmente, o erro de medição de um velocímetro moderno é de 0,006m/s. (AML, 2015)

Para se utilizar o SVP corretamente, uma série de cuidados são necessários como:

- Parametrização correta do SVP com as configurações da gravação e *offset* atmosférico calibrado;
- O equipamento não deve se encontrar em ambiente pressurizado;
- O equipamento deve ser estabilizado termicamente;
- A realização do perfil de velocidade deve ser sob velocidade constante;

Para calcular a velocidade do som utilizando-se fórmulas empíricas, é necessário antes determinar as informações de Temperatura (T), Salinidade(S) e Pressão hidrostática (P) por meio de um equipamento chamado CTD. Este equipamento eletrônico é composto por sensores de condutividade elétrica (por onde se obtém a salinidade), temperatura e profundidade. A acurácia das fórmulas empíricas não costuma variar muito e depende da rigidez de cada levantamento. Alguns exemplos de fórmulas são a de Mackenzie, que utilizam como parâmetros a salinidade em psu (Practical Salinity Units= ‰), temperatura em °C e profundidade em metros. As equações da UNESCO, padrão internacional, e de Del Grosso utilizam a pressão medida em bar como parâmetro ao invés da profundidade (DA CONCEIÇÃO, 2009). Nesse sentido, utiliza-se outras equações experimentais que relacionam pressão com profundidade. Outra fórmula com menor acurácia, porém mais simples é:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.010T) \cdot (S - 35) + 0.016z. \quad (3)$$

Aqui a temperatura T é expressa em °C, a salinidade S em partes por mil [‰], profundidade Z em metros, e velocidade do som c em metros por segundo. A equação (3) é válida para: (Brekhovskikh, 2003)

- $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 35^{\circ}\text{C}$;
- $0 \leq S \leq 45\text{‰}$;
- $0 \leq Z \leq 1000\text{m}$.

A má realização da correção da velocidade do som pode causar perda na qualidade dos dados por problemas de refração e medições erradas, principalmente dos feixes mais externos. Esses problemas podem ser visualizados, por exemplo, na disposição dos feixes que adquirem formatos arqueados.

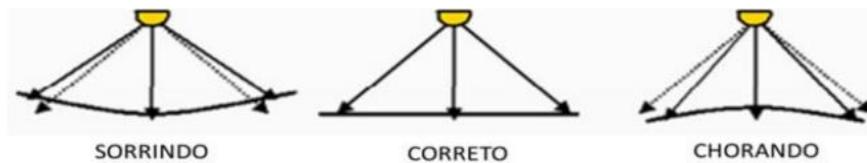


Figura 7 - Swaths arqueados por erro de cálculo da velocidade do som (DHN, 2014).

Para minimizar este problema recomenda-se realizar algumas medidas durante a aquisição: setorizar as áreas de sondagem muito extensas em subáreas que apresentem características de massas d'água similares, como dentro e fora de canais; buscar executar as medições de velocidade do som em cada uma dessas áreas antes do início do levantamento e sempre que houver necessidade. Para o monitoramento contínuo da velocidade do som, o ecobatímetro multifeixe mais moderno possuem velocímetros instalados próximos aos transdutores, de forma que possam realizar o cálculo da refração sofrida pelos feixes na coluna d'água, permitindo uma correção do direcionamento dos feixes transmitidos (GAGG, 2016).

2.1.3 INTENSIDADE ACÚSTICA

Como dito anteriormente, a onda sonora se propaga através de compressões e expansões na direção de propagação da onda. A intensidade da onda acústica (I) é a quantidade de energia que atravessa uma unidade de área por unidade de tempo. A intensidade acústica é dada por:

$$I = ((\rho_e)^2)/\rho_c \text{ (W/m}^2\text{)}, \quad (3)$$

em que ρ_c é a impedância acústica¹ do meio e ρ_e é a pressão acústica efetiva, dada pela raiz média quadrática (*root mean square*) da amplitude da pressão acústica (P) (em pascal(Pa)):

$$\rho_e = P/\sqrt{2}, \quad (4)$$

A intensidade da onda acústica (IL) é calculada por meio do valor médio da pressão acústica, em vez de valores instantâneos. Estes valores de pressão ou intensidade são quantificados na escala logarítmica decibel na forma:

$$IL = 10\log_{10}(P1/P2), \quad (5)$$

sendo ($P1$) a pressão medida na chegada da onda e ($P2$) a pressão de referência, que é normalmente $1\mu\text{Pa}$. Alternativamente o nível de intensidade acústica pode ser expresso como:

$$IL = 20 \log_{10}(\rho_e / \rho_{ref}), \quad (6)$$

em que ρ_{ref} é a pressão de referência.

A intensidade da onda acústica é calculada em decibéis (dB), que é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou intensidade) em relação a um nível de referência especificado ou implícito. Em acústica submarina, a importância da utilização desta escala é devido à diferença de magnitude das medidas. Esta notação facilita a quantificação da relação entre sinal transmitido, recebido e suas perdas representada pela equação sonar. (Lurton, 2002)

2.2 EQUAÇÃO DO SONAR

Os ecobatímetros emitem ondas sonoras de um transdutor acoplado a uma embarcação de sondagem, essa onda sonora atravessa o meio líquido e atinge o fundo, interage com o mesmo e retorna em forma de eco para o receptor. A equação do sonar é uma ferramenta utilizada para estudar e expressar a performance dos ecobatímetros na detecção de alvos através dessa perspectiva. Ela é a base para prever o funcionamento de sistemas sonográficos, pois é geralmente usada para expressar o desempenho do sistema como uma medida da relação sinal-ruído no transdutor para um alvo específico, levando em consideração as limitações do equipamento e o meio de propagação da onda (URICK, 1975). Esta relação sinal/ruído, representada por EE (EchoExcess) na equação (7), permite avaliar as contribuições das perdas do sinal e o quanto elas influenciam o sinal de resposta em decibéis (dB) (AINSLIE, 2008; IHO, 2005).

$$EE = SL - 2TL - (NL - DI) + BS - DT \quad (7)$$

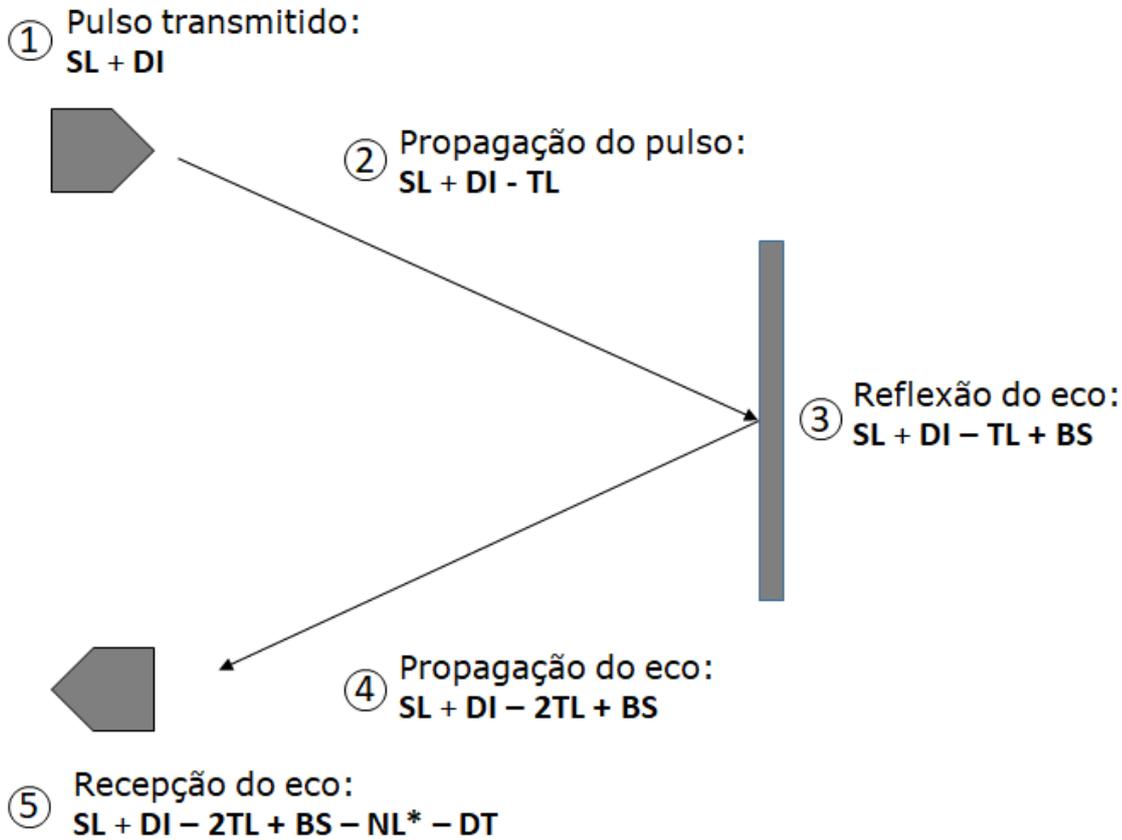
Sendo:

- $SL = SourceLevel$ / nível de transmissão;
- $TL = TransmissionLoss$ / perda de transmissão;
- $NL = NoiseLevel$ / nível de ruído;
- $DI = Directivity Index$ / índice de diretividade;
- $BS = BackscatterStrength$ / nível de retrodifusão;
- $DT = DetectionThreshold$ / limiar de detecção.

A Equação do sonar pode ser modelada de diferentes formas e pode ser composta por variáveis adicionais, porém o objetivo principal é identificar as alterações

sofridas pelo sinal acústico em cinco etapas: na transmissão do pulso; na propagação do pulso/eco; na reflexão e recepção do eco.

/



*A contribuição do Noise Level ocorre durante todo o processo.

Figura 8 - Esquema das contribuições de ruído e intensidade do sinal durante as suas etapas de transmissão, propagação, reflexão e recepção.

2.3 SONAR MULTIFEIXE

Os sonares multifeixe são uma importante tecnologia que se tornou comercialmente acessível apenas nos meados da década de 70. Este acesso ocorreu em conjunto com o avanço da computação em tempo real e capacidade de armazenamento de dados, sendo primeiramente aplicado na indústria militar e se estendendo para a área científica e comercial. Este sistema se popularizou por suas diversas utilidades além do cálculo da profundidade, tais como: levantamento geológico para caracterizar o fundo do mar, propriedades geotécnicas e avaliação de recursos como nódulos polimetálicos, estudos de hidrato de gás, habitat submarino, pesquisa, etc (Blondel, 2012).

O que tornou este sistema tão utilizado no meio científico foi sua capacidade de adquirir dados batimétricos em vasta cobertura, alta densidade e resolução, sendo possível devido a associação da sua geometria com os sensores de posicionamento, movimento, velocidade e proa, devidamente corrigidos (Reson Inc. 2000).

2.3.1 GEOMETRIA DO SONAR MULTIFEIXE

A geometria dos ecobatímetros multifeixe, representada pela figura 9, é composta de arranjos de transdutores para transmissão e/ou recepção de feixes de ondas sonoras. O sistema emite um conjunto de feixes pré-definidos e separados para cada lado de seu nadir (centro vertical), sendo o número de feixes variando de acordo com o modelo do equipamento utilizado. Os feixes são emitidos em forma de leque, que cobrem o fundo do oceano de acordo com a profundidade e o ângulo de varredura (*swath angle*), podendo chegar a uma abertura de 240° como é o caso do modelo EM 2040D Dual Head da empresa Kongsberg (2018) que teoricamente consegue cobrir até 10 vezes a profundidade da coluna d'água em terrenos planos. O alcance lateral máximo é diretamente proporcional ao ângulo de varredura e varia de acordo com a profundidade, resultando em uma maior densidade de dados em águas rasas e menor área de cobertura, ocorrendo o contrário para áreas mais profundas (DA CONCEIÇÃO, 2009).

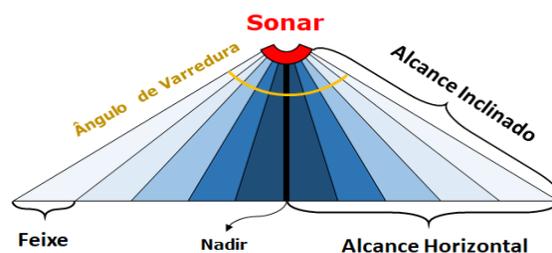


Figura 9 - Representação da geometria dos feixes adaptado de DA CONCEIÇÃO, 2009.

2.3.2 CÁLCULO DA PROFUNDIDADE

O princípio do cálculo da profundidade realizado por um sonar multifeixe é baseado no tempo que um pulso sonoro leva desde sua emissão até seu retorno ao equipamento, em função da velocidade de propagação do som na água e do ângulo dos feixes (PARNUM, 2007). Para que o ecobatímetro consiga realizar este cálculo, é necessário ter em sua composição equipamentos capazes de cumprir estas funções.

Segundo Ferreira, I. O (2013) para que o ecobatímetro consiga realizar esta tarefa, é preciso ser composto pelos seguintes equipamentos:

- Gerador de pulso: dispositivo automático que promove a emissão de vibrações;
- Gerador de alta tensão: gera uma alta voltagem para a excitação do transdutor;

- Transdutor: realiza a conversão entre energia elétrica e onda acústica e vice-versa;
- Amplificador: amplifica as oscilações elétricas geradas no transdutor e as transmite ao registrador; e
- Registrador: transforma o intervalo de tempo decorrido entre a emissão do pulso sonoro e a recepção do seu eco em registros de profundidades, em função da velocidade de propagação do som na água.

O Gerador de pulso sonoro emite periodicamente uma onda elétrica. Esta é enviada ao Registrador que recebe e armazena o tempo de emissão. Simultaneamente o transdutor converte a onda elétrica em acústica pelo princípio da piezoelectricidade e a emite para a coluna d'água (FERREIRA, A, C, 2016). Quando esta retorna ao transdutor, refletida do fundo em forma de eco, ela é re-transformada em onda elétrica e enviada ao amplificador que a amplifica e filtra o sinal (Ferreira, I, O, 2013). No final deste processo, o registrador, em função do TWTT (Two-Way Travel Time/Tempo de emissão e recepção), da velocidade do som na coluna d'água e dos ângulos dos feixes, é capaz por meio de equações, retirar do pulso elétrico a informação de profundidade (DA CONCEIÇÃO, 2009).

Após calcular a profundidade em um ponto, esta pode ainda não representar a profundidade real. Para aferir esta medida, é necessário posicioná-la e corrigir essa informação de acordo com todas as movimentações realizadas pela embarcação, além de realizar a redução de profundidade. Esta redução é uma correção aplicada para corrigir o valor de profundidade para um sistema e referência vertical. Nela são removidos os efeitos de maré e movimentação de arfagem da embarcação (RESON INC. 2000).

2.3.3 SENSORES DE MOVIMENTO E POSICIONAMENTO

É de fácil compreensão de que, ao se calcular uma profundidade, a mesma necessita ser associada a uma posição na superfície da água. Essa, por sua vez, deve ser representada em sistemas de coordenadas sobre um referencial geodésico (WGS-84, por exemplo) para que possam ser geradas cartas topográficas de diversos tipos (NAKAO, 2014; MORI, 2013). Durante os anos, diversos métodos foram desenvolvidos para solucionar esta questão. Estes métodos utilizavam-se de pontos de apoio em terra e relações geométricas simples (KRUEGER, 2005). Contudo, com o avanço da tecnologia e as exigências de levantamentos mais precisos, estes métodos se tornaram inviáveis do ponto de vista prático e financeiro.

Para solucionar esta questão, foram desenvolvidas novas tecnologias com técnicas especiais que ampliassem a qualidade do posicionamento horizontal além de possibilitar uma independência dos pontos de apoio em terra (RAMOS, 2007).

Dentre as técnicas mais utilizadas nos levantamentos batimétricos, destacam-se três: o sistema de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), o sistema acústico GIB (*GPS IntelligentBuoy*) e o sistema inercial.

- Sistema GNSS: Uma antena receptora processa os sinais transmitidos pelos satélites (GPS, GLONASS E GALILEU por exemplo) e calcula a sua própria posição, velocidade e tempo. Cada estimativa de posição feita baseia-se na determinação da distância entre receptor e o conjunto de satélites, conseguida pela extração do tempo de propagação dos sinais recebidos de acordo com os relógios do satélite e receptor (VALLEJO, 2014).
- Sistema acústico GIB: Seu princípio de funcionamento é baseado numa rede de boias de superfície que mede o tempo de chegada dos sinais acústicos enviados por um transmissor acoplado numa embarcação. A cada ciclo de emissão e recepção, é enviado um sinal sincronizado com o tempo GPS e o atraso proporcional à profundidade do veículo (no caso de veículos subaquáticos). Sendo assim, o sistema de boias calcula a localização do sonar por métodos de triangulação (OLIVEIRA, 2009; ALMEIDA M. S. 2010). Mais utilizado em levantamentos com embarcações submersas.
- Sistema inercial: É fundamentado no conhecimento prévio da posição, velocidade e orientação de um equipamento (podendo ser obtida por um sistema GPS por exemplo), mantendo-as ao longo do percurso, a partir de medições da aceleração em direções espaciais conhecidas através de instrumentos que mecanizam as leis do movimento de Newton (MORI, 2013). Os sensores inerciais determinam os movimentos rotacionais (*roll*, *pitch* e *yaw*) e lineares realizados por uma embarcação.

A importância dos sistemas de posicionamento está relacionada, principalmente, a incertezas horizontais dos levantamentos (*position error*). A Organização Hidrográfica Internacional definiu Tabela 1) os requisitos de acurácia horizontal para cada tipo de levantamento. Normalmente, levantamentos aplicados para segurança da navegação e engenharia naval são classificados como ordem Especial ou 1a. Estes requisitos são criteriosamente verificados em todo projeto e o seu não atendimento podem levar a uma não aceitação dos dados (RAMOS, 2007).

Tabela 1 - Requisitos de acurácia horizontal e Vertical para cada ordem de levantamento.

Ordem	Tipos de levantamento	Acurácia Horizontal (Nível de confiança 95%)	Acurácia Vertical (Nível de confiança 95%)
Especial	Áreas onde a altura livre sob a quilha é de importância crítica.	2 metros.	a = 0.25 metros b = 0.0075
1a	Áreas com profundidades menores que 100 metros nas quais a lazeira de água debaixo da quilha não é de importância crítica, mas onde há possibilidade de existirem feições que ponham em risco a navegação.	5 metros + 5% da profundidade.	a = 0.5 metros b = 0.013
1b	Áreas com profundidades menores que 100 metros nas quais a lazeira de água debaixo da quilha não é um fator de risco em virtude do tipo de embarcações que deverão transitar nelas.	5 metros + 5% da profundidade.	a = 0.5 metros b = 0.013
2	Áreas com profundidades maiores que 100 metros nas quais uma descrição geral do solo marítimo é considerada apropriada.	20 metros + 10% da profundidade.	a = 1.0 metros b = 0.023

Sendo $\pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$ a fórmula para calcular a acurácia vertical temos as variáveis: a representando aquela parcela de incerteza que não varia de acordo com a profundidade; b um coeficiente que representa aquela parcela de incerteza que varia de acordo com a profundidade e d é a profundidade. Fonte: IHO S44 2008.

Desde o século passado, os sensores de movimento vêm sendo amplamente utilizados em levantamentos hidrográficos a ponto de se tornarem requisitos essenciais para garantir a precisão (incertezas verticais / *depth error* e/ou incertezas horizontais / *position error*) e verossimilhança dos dados (IHO, 2005). Nos levantamentos em mares e rios, o efeito de ondas e correntes causam seis tipos de movimentos numa embarcação que devem ser considerados em uma sondagem, sendo compostos por três translações e três rotações ao longo dos três eixos coordenados (FERREIRA, I, O, 2013). Estes movimentos da embarcação são representados em um eixo tridimensional local de coordenadas cartesianas, onde sua origem é definida no centro de massa da embarcação, na altura da lâmina d'água estática, sendo seus eixos e movimentos definidos na Figura 10: (GAGG, 2016).

Os eixos tridimensionais são definidos como¹:

- X: Eixo longitudinal da embarcação, sendo positivo no sentido de sua navegação,
- Y: Eixo transversal à embarcação, sendo positivo à bombordo, e
- Z: Eixo vertical, sendo positivo em direção ao alto da embarcação.

Dentre as translações tem-se:

- *Surge*: Translação ao longo do eixo X da embarcação,
- *Sway*: Translação ao longo do eixo Y da embarcação, e
- *Heave*: Translação na direção do eixo Z (vertical) da embarcação.

Já as rotações são descritas como:

- *Balanço/Roll*: Rotação em torno do eixo X da embarcação,
- *Cabeceio/Pitch*: Rotação em torno do eixo Y da embarcação,
- *Rumo/Heading/Yaw*: Rotação em torno do eixo Z da embarcação.

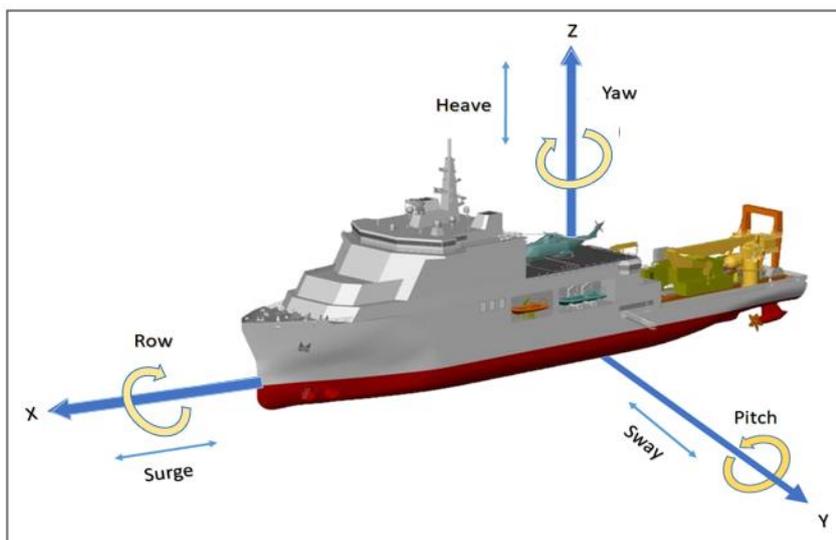


Figura 10 - Os movimentos translacionais e rotacionais relativos aos eixos X, Y e Z de uma embarcação (PAULO E HOLMES, 2011).

A determinação destes movimentos é calculada através dos sensores inerciais e giroscópios ou sensores inerciais associados a informação GNSS (Ferreira, I, O, 2013). Os acelerômetros dos sensores inerciais são capazes de medir as acelerações do centro de massa da embarcação além de fornecer a direção das forças que agem sobre ela. Estes sensores são empregados para a determinação de *roll* e *pitch* (Kongsberg, 2017). Já os giroscópios ou sensores de proa são responsáveis pelas medições dos ângulos das rotações realizadas pela embarcação (Simões, 2007).

¹Estes eixos podem variar de acordo com o sistema e software que forem utilizados.

Para a obtenção dos movimentos de rotação em torno do eixo vertical (*yaw*) costumam ser utilizados sistemas de posicionamento integrados a acelerômetros. O sistema mais utilizado, como dito anteriormente, é o GNSS onde antenas instaladas, e orientadas longitudinalmente à proa da embarcação de sondagem, conseguem fornecer as variações em graus deste movimento (NAKAO, 2015; IHO, 2005).

Estes sensores, quando utilizados, devem ser alinhados e instalados corretamente. A instalação deve ser realizada, preferencialmente, no centro de massa da embarcação, de forma a facilitar os cálculos e reduzir erros sistemáticos (IHO, 2005). O seu alinhamento pode seguir dois modelos: o absoluto - alinhamento em relação à origem; e o alinhamento relativo - onde os sensores são alinhados entre si. O alinhamento absoluto é sempre preferido, porém nem sempre possível por conta de possíveis obstruções, normalmente metálicas, que geram interferências no sinal GNSS (NAKAO, 2015; FERREIRA, I, O, 2013). Nesses casos, utiliza-se o alinhamento relativo, mas mantendo a antena GNSS na parte mais alta da embarcação, correlacionando esta diferença de localização à origem e aos demais sensores e sistemas. Vale lembrar também, que mesmo quando utilizado o alinhamento relativo, é necessário um alinhamento dos sensores com os eixos da embarcação. Essas configurações são chamadas de offsets e, por mais que sejam realizados de forma planejada e precisa, sempre existirão erros associados ao sincronismo (*Latência/time delay*) entre os sistemas e os tempos de aquisição (HYPACK, 2011).

Por mais bem-feita que seja a instalação de todos os sensores, ainda assim haverá erros de instalação e alinhamento. Para que estes sejam minimizados, são realizadas, nas fases de planejamento e preparação, calibrações que forneçam os graus de montagem dos sensores e a latência. Esta calibração é feita através do *patch test*, item de suma importância em levantamentos multifeixe (RESON INC. 2000; PEREIRA 2013).

2.4 *PATCH TEST*

Os erros de orientação dos sensores presentes em um sistema de sonar multifeixe podem ser divididos em dois tipos: os erros de profundidade (*depth error*) caracterizados pelas incertezas verticais; e os erros de posicionamento (*position error*) relacionados às incertezas horizontais (GODIN, 1998). As fontes de erro para a contribuição de cada uma destas incertezas são associadas à orientação dos sensores de movimento e de posicionamento, além dos erros instrumentais e variações da velocidade do som na

coluna d'água, já descritos anteriormente (R2 SONIC, 2009). Neste trabalho, o foco será nas fontes de erro associadas aos desvios de alinhamento de *roll*, *pitch*, *yaw* e à latência de posicionamento (*Time delay*) e sua respectiva calibração, o *Patch test*.

O *Patch test* é uma calibração que deve ser realizada sempre que se inicia um trabalho, mesmo que o transdutor esteja fixo ao navio. Em embarcações de oportunidade onde o transdutor fica montado a uma haste, a calibração deve ser feita sempre que a haste é movida. (IHO, 2005). Para se identificar cada desvio, existe um procedimento específico de aquisição a ser realizado que define um tipo de topografia (plana, declive ou de forma bem definida), rumo e velocidade de aquisição (HOY & KISSINGER, 2010).

Além da configuração de aquisição, também é importante a forma de visualização dos dados. Normalmente, para a análise destes erros, são utilizados *softwares* interativos, como CARIS e Navimodel por exemplo, que permitem a visualização dos dados de profundidade em perfis de faixas (*slices*), podendo ser paralelos ou ortogonais às linhas de aquisição. Este procedimento é realizado desta forma para que quando em uma plataforma de análise, o erro de calibração de cada sensor seja ampliado, facilitando assim sua correção (EIVA, 2009).

Alguns autores como Eisenberg (2011) definem uma ordem de calibração dos erros como sendo: Latência de posicionamento, *roll offset*, *yaw offset* e por último *pitch offset*. Contudo, não há um consenso sobre a sequência correta que devem ser feitas as correções.

Tabela 2 - Configuração de aquisição e calibração dos offsets (IHO,2005; EIVA, 2009; RESON INC.2000)

Variável	Topografia	Rumo	<i>Slice</i>	Observações
Latência de posicionamento	declive regular ou alvo	paralelas e sobrepostas	paralelo	Dobro de velocidade entre as linhas
<i>Roll</i> offset	plano regular	recíprocas	ortogonal	Preferencialmente sem artefatos
<i>Yaw</i> offset	plano/declive regular ou alvo	paralelas	paralelo	Existência de Artefatos bem definidos
<i>Pitch</i> offset	declive regular ou alvo	recíprocas e sobrepostas	paralelo	Preferencialmente em áreas profundas (>30m)

2.4.1 CALIBRAGEM DOS ATRASOS DE SINCRONIA, LATÊNCIA

Assim como previamente apresentado, o *offset* de latência é o intervalo de tempo entre a posição medida e a posição real. Dependendo do sistema de posicionamento e o modelo de receptor utilizado, a variação de atraso de tempo costuma ser entre 0.1 a 1.2 segundos. Um *offset* de latência incorreto resulta em um erro de posição sobre faixa do levantamento, que é uma função do valor de latência e da velocidade do navio (RESON INC, 2000).

Aquisição de dados: Para determinar o *offset* de latência é necessário realizar um levantamento com linhas coincidentes, mas com a velocidade da segunda sendo o dobro que da primeira (R2 SONIC, 2009). É importante que as duas linhas sejam feitas sobre um declive ou alvo, pois quanto mais acentuado a inclinação do terreno, maior será a resolução deste parâmetro.

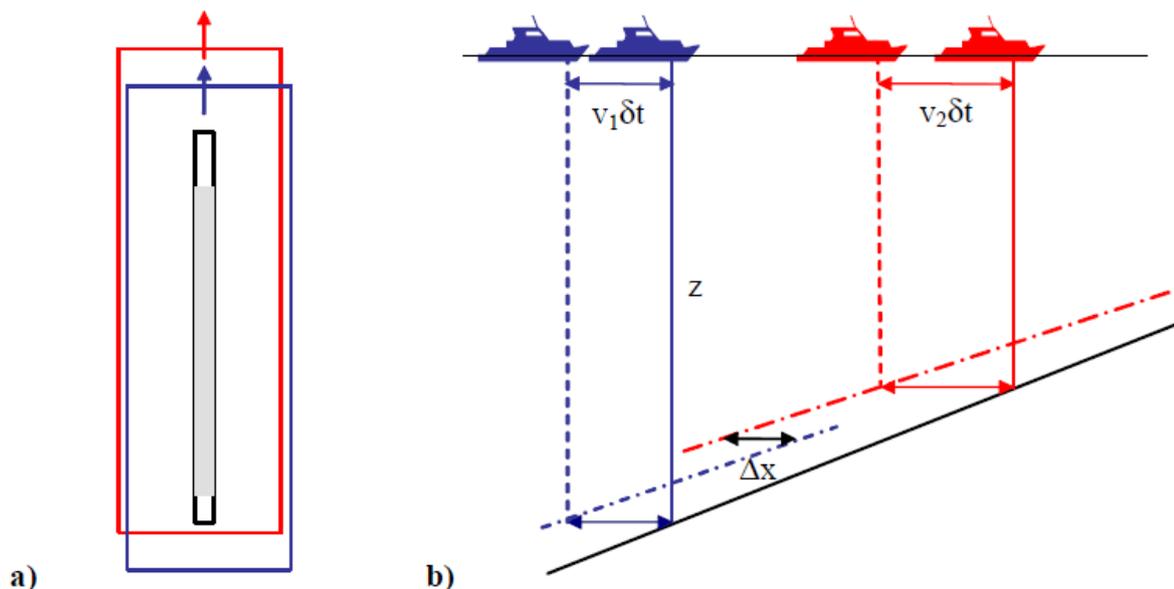


Figura 11 - Procedimento de aquisição para calibração de latência. a) Vista de cima das duas linhas e em cinza seção para análise. b) Seção longitudinal representando a separação entre os dois perfis em relação ao fundo real (IHO, 2005)

O valor de latência (δt) representa a divisão da separação horizontal entre os perfis das duas linhas (Δx), pela diferença das velocidades das linhas v_1 e v_2 como pode ser visto na fórmula (8) (IHO, 2005):

$$\delta t = \Delta x / (v_2 - v_1) \quad (8)$$

Procedimento analítico: a análise é feita através de uma seção longitudinal às linhas, e sobrepondo os dois fundos detectados. Se existir um *offset* de latência, poderá ser identificado a deslocamento horizontal dos fundos como pode ser visto na figura (12) (RESON INC. 2000).

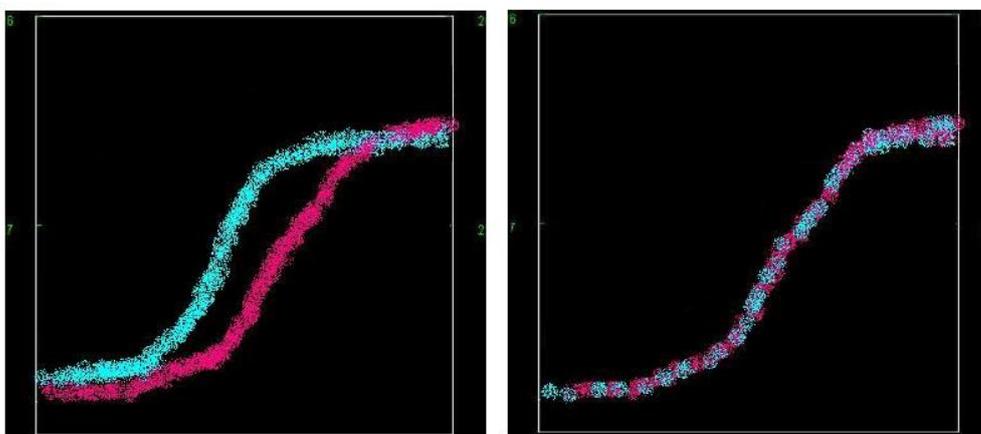


Figura 12 - Visualização do offset de latência antes e depois da correção (HOY & KISSINGER, 2010).

A determinação deste erro é necessária quando o sistema não está sincronizado ao tempo do sistema de posicionamento, o que normalmente não é esperado (EIVA, 2009). Contudo, ainda assim se faz necessária o teste de análise de latência do sistema para que se possa ter a confirmação de que o erro é aproximado de zero.

2.4.2 CALIBRAGEM DOS DESVIOS DE OFFSETS DE ROLL

Em um sistema multifeixe, o *desvio* em *roll* é a composição do desvio angular do sensor de movimento e do alinhamento do transdutor com a vertical do sistema de referência (Equação 9) (R2 SONIC, 2009). Um erro de *offset* de *roll* é crítico pois resulta em um erro na medida de profundidade e impacta profundamente na geração da superfície batimétrica como será demonstrado posteriormente neste trabalho (RESON INC, 2000).

Aquisição de dados: Para a calibração de *roll* são realizadas duas linhas sobrepostas e recíprocas em fundo plano e preferencialmente sem artefatos.

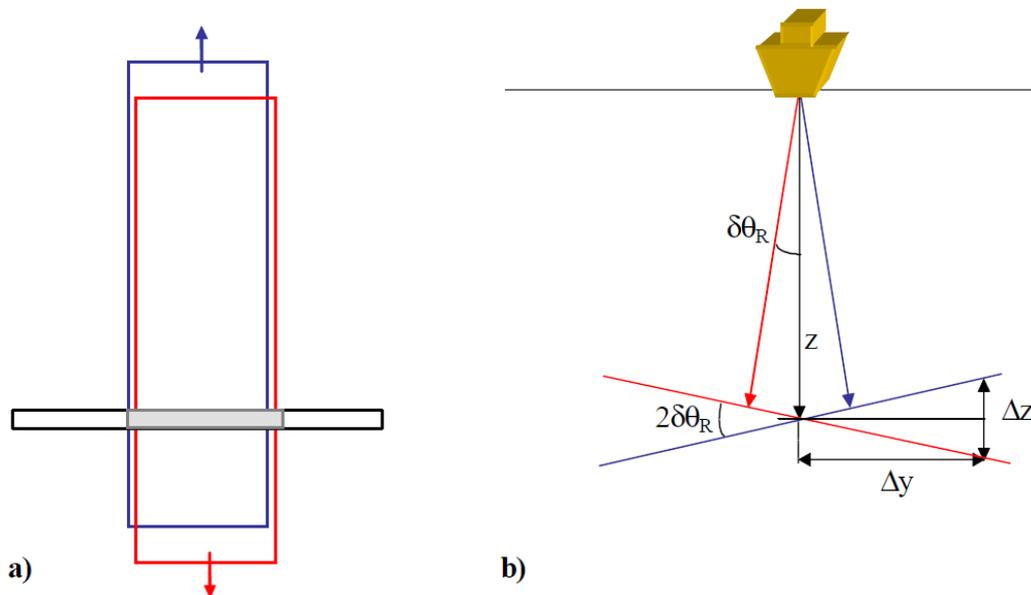


Figura 13 - Procedimento de aquisição para calibração de roll. a) Vista de cima das linhas e em cinza seção para análise. b) Seção transversal representando a separação entre os dois perfis em relação ao fundo real (IHO, 2005).

O desvio em *roll* ($\delta\theta_R$) pode ser modelado pela equação 9 de acordo com o ângulo de separação das duas linhas (Δz) e o dobro da distância entre o eixo de separação e alcance máximo lateral dos feixes (Δy) (IHO,2005).

$$\delta\theta_R = \tan^{-1}(\Delta z / (2 \cdot \Delta y)) \quad (9)$$

Procedimento analítico: a análise é feita através de uma seção ortogonal às linhas, e sobrepondo os dois fundos detectados. Se existir um *offset* de *roll*, poderá ser identificado uma alteração na profundidade de cada *slice* para cada direção como pode ser visto na figura (14) (HOY & KISSINGER, 2010).

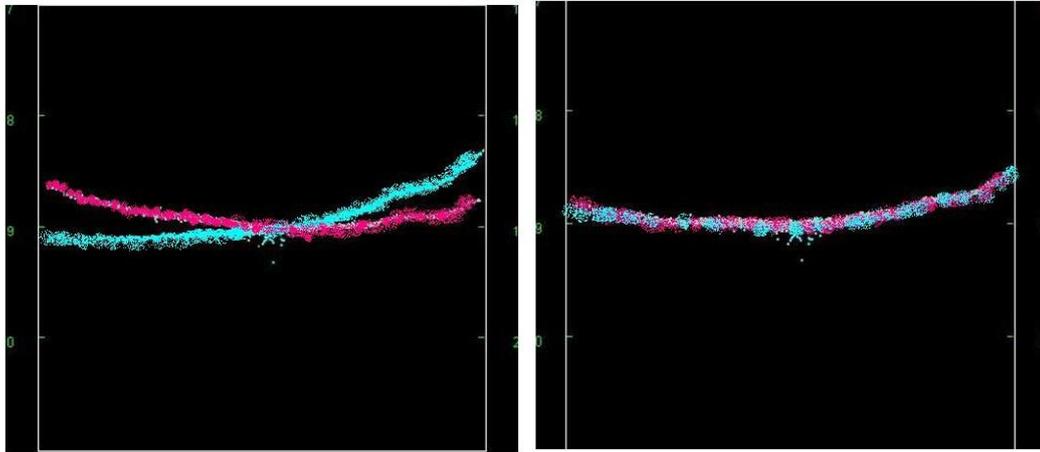


Figura 14 - Visualização do *offset* de *roll* antes e depois da correção (HOY & KISSINGER, 2010).

Esta variação não será necessariamente constante ao longo das linhas, por conta disso deve-se encontrar um valor médio onde as mesmas combinem. Esta etapa pode ser feita manualmente ou através de métodos estatísticos (Eiva, 2009).

2.4.3 CALIBRAGEM DOS DESVIOS DE *OFFSETS* DE *PITCH*

O desvio em *pitch* é composto pelo do desvio angular do sensor de movimentos e do alinhamento do transdutor com a vertical de referência no plano longitudinal da plataforma de sondagem (IHO, 2005). Um erro de *pitch* resulta em um erro de posicionamento ao longo da fiada, uma característica marcante deste desvio é que sua contribuição aumenta fortemente com o incremento de profundidade (NAVY, 2017).

Aquisição de dados: Utilizando-se da mesma direção levantada para a correção do erro de Latência, deve-se realizar mais duas linhas recíprocas, coincidentes e de mesma velocidade sobre um fundo de 10° a 20° de inclinação (HOY & KISSINGER, 2010).

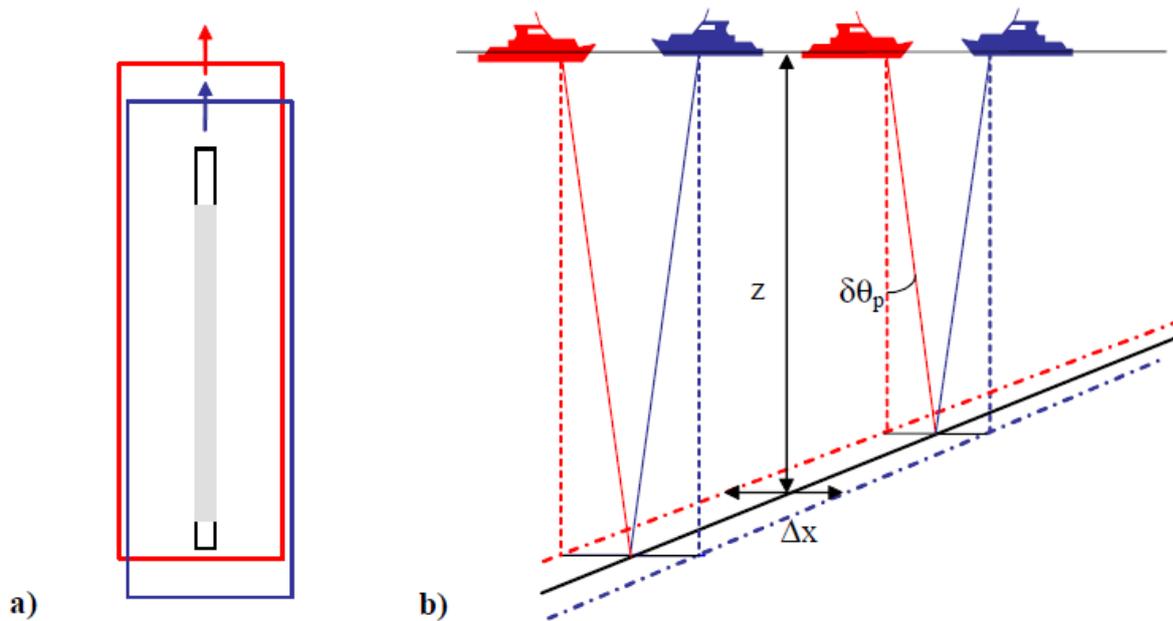


Figura 15 - Procedimento de aquisição para calibração de pitch. a) Vista de cima das linhas e em cinza a seção para análise. b) Seção longitudinal representando a separação entre os dois perfis em relação ao fundo real (IHO, 2005).

Para a obtenção do valor de contribuição do desvio em *pitch* ($\delta\theta_p$), deve ser calculada a cotangente da razão entre a separação horizontal das linhas (Δx) com o dobro do valor da profundidade (z), como pode ser visto na equação 10 (IHO,2005).

$$\delta\theta_p = \tan^{-1}(\Delta x / (2 \cdot z)) \quad 10$$

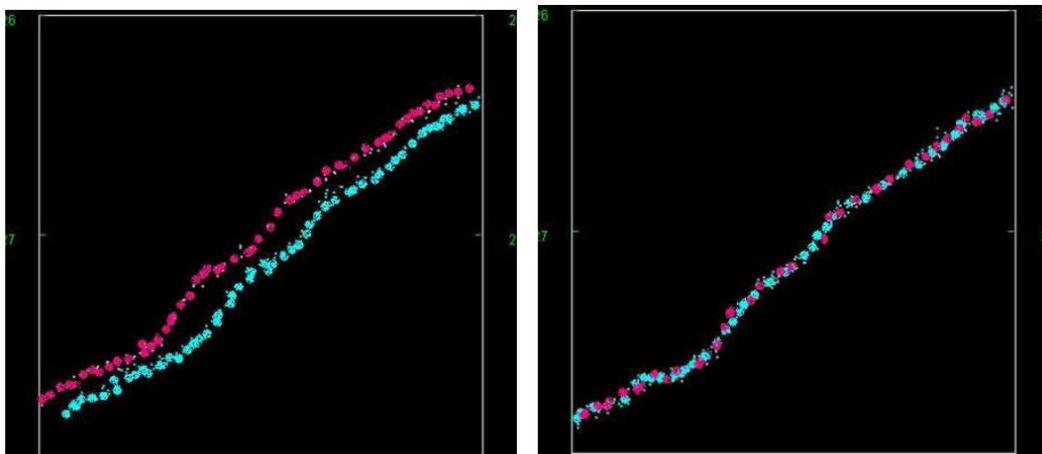


Figura 16 - Visualização do offset de pitch antes e depois da correção (Hoy & Kissinger, 2010).

Procedimento analítico: O processamento de calibração dos erros de *pitch* são bem similares aos de latência, ou seja, será a correção da separação horizontal entre os fundos (figura 16). Para que este *offset* seja detectado é preciso realizar uma seção

coincidente com as linhas, ou seja deve-se analisar feixes centrais das linhas (RESON INC, 2000).

Enquanto os erros de *Roll* são fáceis de se identificar, os erros de *pitch* são os mais complexos. Isso ocorre devido a sua distribuição ocorrer ao longo de toda a fiada. Por conta disso é recomendado que antes de se realizar o levantamento de *pitch*, é importante verificar que os erros provenientes de atraso de tempo tenham sido resolvidos (NAVY, 2017).

2.4.4 CALIBRAGEM DOS DESVIOS DE *OFFSETS* DE *YAW*

O último erro causado por desvio angular é o desvio em *yaw*, este é composto pelos desvios angulares do sensor de proa e do alinhamento do transdutor em relação ao eixo longitudinal da plataforma de sondagem. Um erro de *yaw* não afetará os feixes no nadir, porém irá introduzir erros de posicionamento dos feixes externos. Esta magnitude normalmente aumenta com a profundidade e a distância do nadir.

Aquisição de dados: A configuração das linhas para a identificação dos erros de *offset* neste caso é bem diferente das demais. Neste procedimento, é realizado um ou dois pares de linhas paralelas e de mesma velocidade. Elas devem ser realizadas em um fundo plano regular e de preferência com um artefato bem definido sobre ele, mas podendo ser realizado em um baixo e bem definido declive. (Godin, 1998). As linhas devem ser separadas aproximadamente duas a três vezes o valor da profundidade e ter uma sobreposição dos feixes externos valor próximo de 20% (R2SONIC, 2009; IHO , 2005).

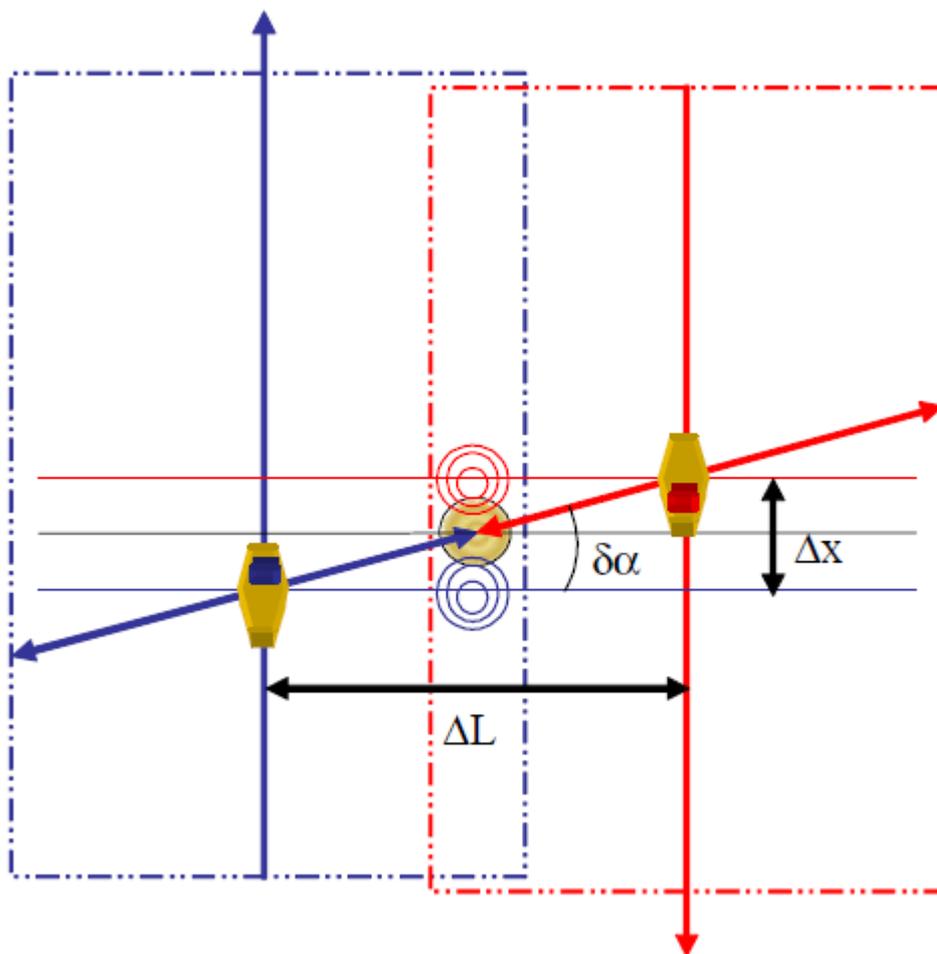


Figura 17 - Procedimento de aquisição para calibração de yaw. Vista de cima representando as linhas, localização do artefato e a visualização do artefato para cada fiada (IHO, 2005)

Para que seja mensurado o desvio de yaw ($\delta\alpha$) deve-se calcular a cotangente da razão entre a separação horizontal da estrutura batimétrica obtida através das duas linhas recíprocas adjacentes à estrutura (Δx) e a distância entre as duas linhas (ΔL). Como representado na equação 11 (IHO, 2005).

$$\delta\alpha = \cot(\Delta x / \Delta L)$$

11

Procedimento analítico: Para a determinação do erro de proa é necessário a visualização sobre os feixes externos que cobrem o artefato e paralelo a direção de navegação das linhas. Se para a identificação foi utilizado um artefato bem definido e, caso exista um erro de yaw, poderá visualizar uma diferença de posição do desenho do artefato entre as duas linhas (Figura 18) (Hoy & Kissinger, 2010). Se foi utilizado um declive para a identificação deste erro, ele estará presente no deslocamento das linhas. Em ambos os casos basta aumentar ou reduzir o grau de inclinação em seu software

interativo até que as linhas se sobreponham e o valor possa ser obtido (RESON INC, 2000).

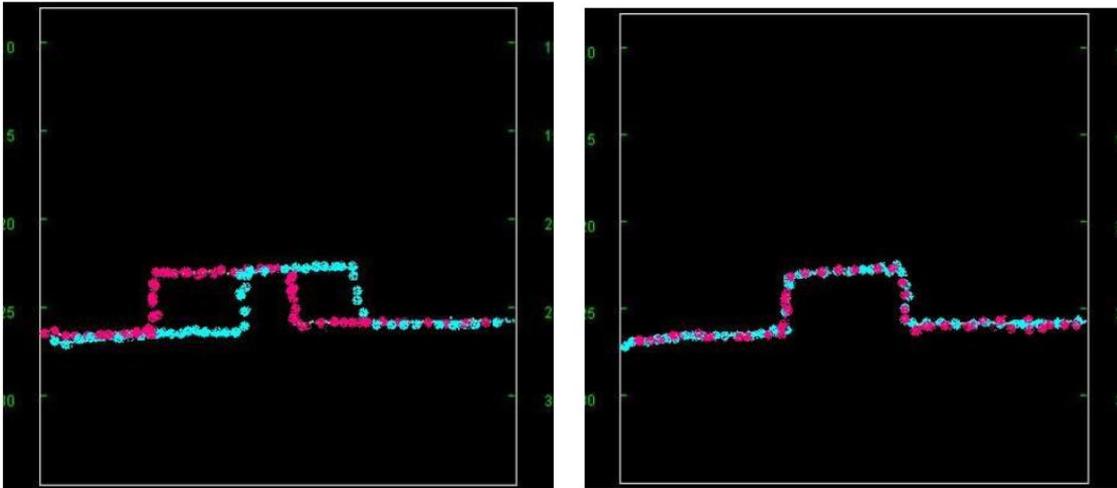


Figura 18 - Visualização do offset de yaw antes e depois da correção (HOY & KISSINGER, 2010).

Para que a resolução dos erros de yaw não se tornem mais complexos, é recomendado que se utilize a opção do artefato ao invés do declive. Esta determinação é relevante já que na identificação do artefato teste, a embarcação não estará diretamente sobre o mesmo o que amplia os efeitos nos feixes externos a serem analisados (R2 SONIC, 2009).

3.0 ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para a aquisição de dados foi na parte sudeste da Baía de Guanabara próximo à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Ela foi escolhida não só pela logística, facilitada pela movimentação dos equipamentos e escolha da embarcação entre a DHN e o local de aquisição, mas também pelo vasto conhecimento do fundo marinho local (Figura 19). Um fator determinante na escolha do local foram suas diversas feições bem conhecidas e mapeadas além dos variados tipos de topografia, que facilitam a visualização das contribuições de cada erro do sistema multifeixe.

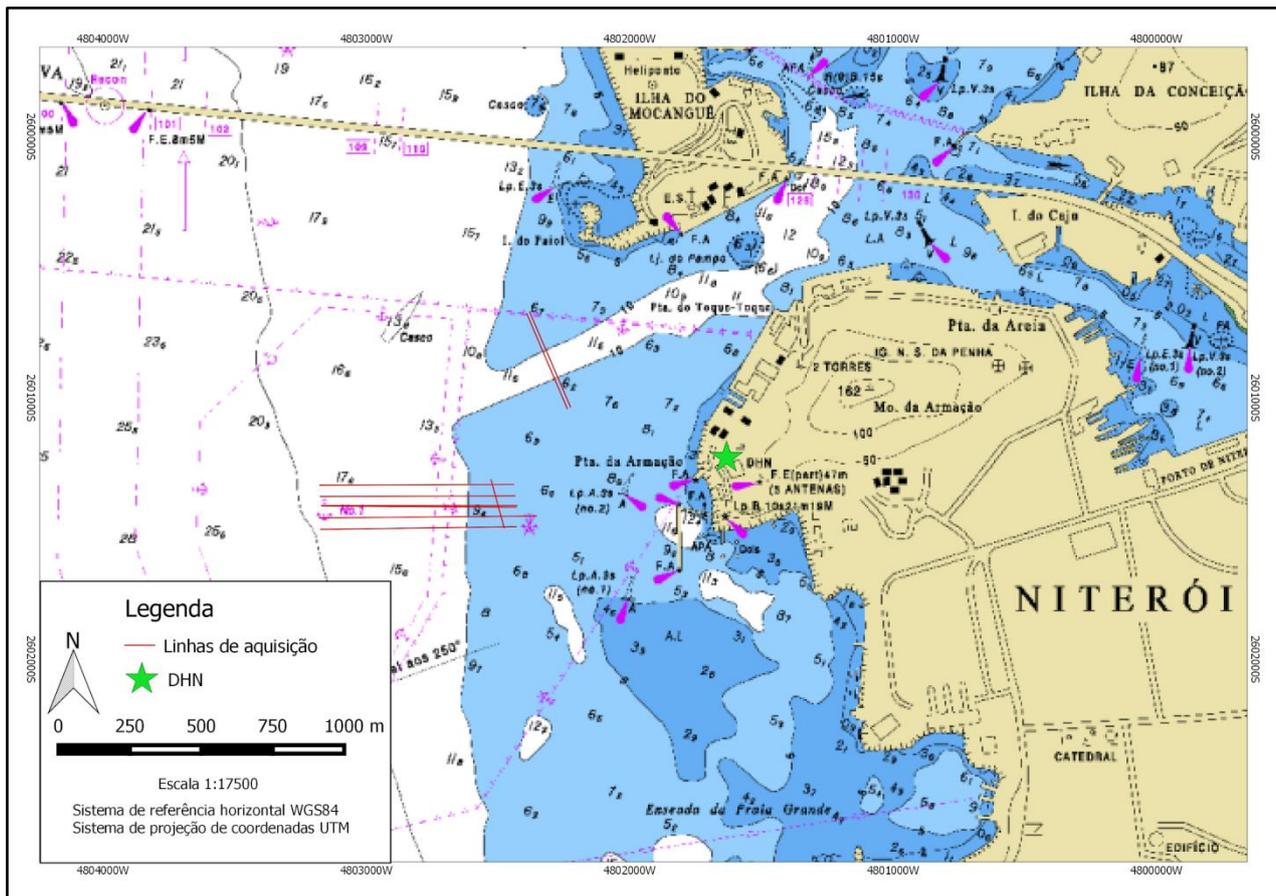


Figura 19 - Carta batimétrica da região sul da Baía de Guanabara

4.0 METODOLOGIA

4.1 EQUIPAMENTOS E DADOS UTILIZADOS

Os dados e equipamentos utilizados neste trabalho foram fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, oriundos de calibração para pesquisas de performances de equipamentos hidrográficos.

O levantamento para o *patch test* realizado no dia 1º de agosto de 2017 e utilizou-se do ecobatímetro EM 2040C da Kongsberg Maritime configurado para 400kHz de frequência (Figura 20.a).

Para controlar as incertezas horizontais e verticais foram instalados na embarcação o sensor de proa, atitude e posicionamento Seapath 300 - MRU 5 (Figura 20.d) em conjunto com um sistema DGNSS 3710 (Figura 20.c)

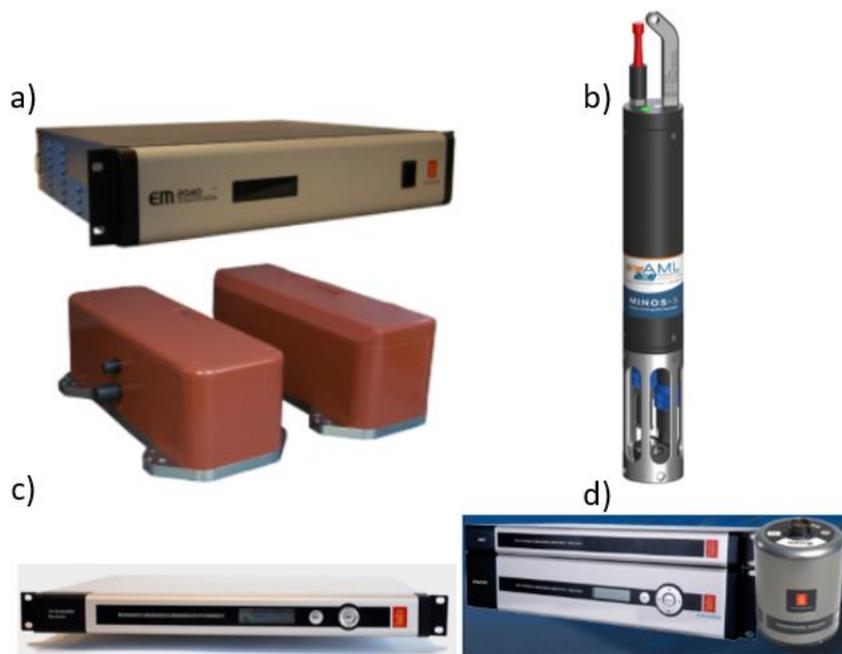


Figura 20 - Equipamentos utilizados: a) EM 2040C; b) AML Minos X; c) DGNSS 3710;

4.2 CÁLCULO DA VELOCIDADE DO SOM

Antes de iniciar o levantamento foi realizado um perfil de velocidade do som na coluna d'água com o perfilador AML Minos X (Figura 21.b) e inserido no software de navegação e aquisição SIS. Para se garantir a veracidade deste perfil, foi realizado um monitoramento contínuo da velocidade do som por meio de comparação dos dados do perfil com os fornecidos por velocímetro instalado na face do transdutor (AML micro x). O critério escolhido para a avaliação foram dois: a diferença entre os valores não ser maior que 2m/s e a visualização de *swaths* arqueados. Caso os critérios não fossem atingidos, seria realizado outro perfil. Porém devido ao tamanho reduzido da área escolhida e por ela não ser em uma região próxima de mistura de massas de água com características distintas (como desembocaduras de rios por exemplo), foi necessário apenas um perfil.

4.3 CÁLCULO DA MARÉ

Para minimizar os efeitos de maré sobre sondagem calculada, foram utilizados os dados registro de maré da estação maregráfica do Complexo Naval da Ponta da Armação, obtida pela análise estatística e harmônica durante 731 dias de observação (anexo 1).

4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados foi realizado no *software* de processamento CARIS HIPS and SIPS versão 11.2 Este programa foi escolhido pelo fácil acesso no laboratório da Universidade Federal Fluminense e por ser uma das ferramentas mais utilizadas no processamento batimétrico mundial na atualidade. Os dados adquiridos estão no formato all (formato de saída do ecobatímetro escolhido) e foram processados seguindo o *workflow* sugerido também pela CARIS assim como pode ser visto na imagem abaixo:

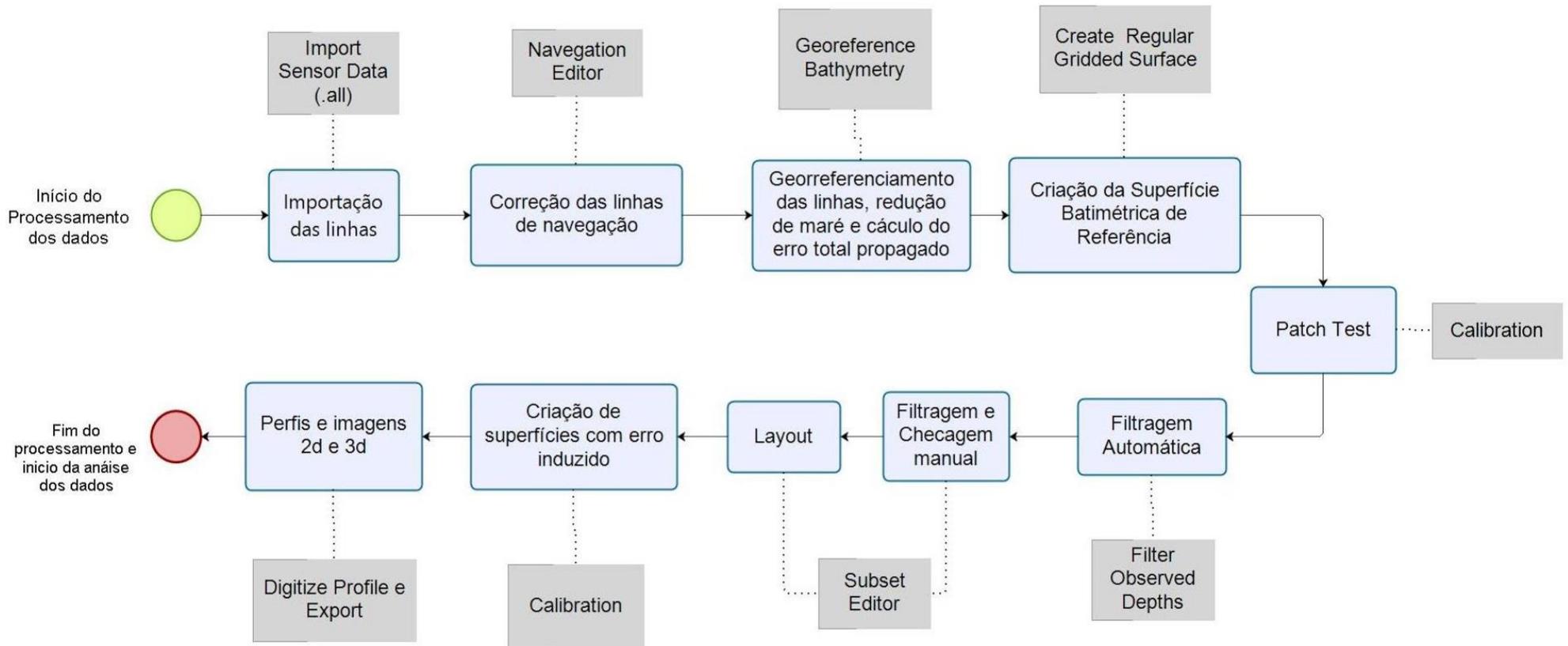


Figura 21 -Workflow sugerido pela CARIS para o processamento de dados batimétricos

4.4.1 IMPORTAÇÃO DAS LINHAS

As linhas foram importadas utilizando a ferramenta *Import Sensor Data*. Esta ferramenta converte e agrupa os arquivos all no formato *hips*, organização padrão dos dados CARIS para que o programa possa executar corretamente suas ferramentas de processamento.

4.4.2 CORREÇÃO DAS LINHAS DE NAVEGAÇÃO

Através da ferramenta *Navigation Editor* foram cortadas sessões das linhas que apresentavam algum erro de navegação ou que ultrapassaram a área de interesse do estudo.

4.4.3 GEORREFERENCIAMENTO DAS LINHAS, REDUÇÃO DE MARÉ E CÁLCULO DO ERRO TOTAL PROPAGADO

Nesta etapa, foi calculado as incertezas propagadas, provenientes dos equipamentos do sistema (TPU), assim como foi realizada a redução de maré e a mesclagem dos dados das compensações horizontais e verticais da embarcação com a navegação a fim de converter os dados brutos em Latitude, Longitude e Profundidade. Para a realização deste processo foi utilizada a ferramenta *Georeference Bathymetry*.

4.4.4 CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM

Como os dados do perfil de velocidade já foram inseridos durante a aquisição com software SIS, não houve necessidade de realizar novamente o cálculo de correção da velocidade do som.

4.4.5 CRIAÇÃO DA SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA DE REFERÊNCIA

Com os dados devidamente preparados, foi criada uma primeira superfície batimétrica de 0.2m de resolução e utilizando-se do método de gridagem CUBE com atributo *shoal*. O algoritmo CUBE é um método de gridagem rápida que pode criar superfícies a partir de possíveis hipóteses de fundo do mar. Na segurança da navegação é comum utilizar o atributo *shoal*, pois ele seleciona as sondagens mais rasas dentro da nuvem de pontos na criação da superfície.

4.4.6 PATCH TEST

Tendo a superfície criada e utilizando-se da ferramenta Calibration foi realizada a calibração para o de atraso no tempo entre os sensores e para os desvios de offset angulares.

4.4.6.1 CONFIGURAÇÃO DAS LINHAS PARA A REALIZAÇÃO DO PATCH TEST

Durante a aquisição destes dados pela marinha foram realizados oito linhas, donde sete são paralelas sendo, duas delas coincidentes e de velocidades na razão 1:2 e uma transversal às 6 anteriores (figura 20). Cada uma delas foi planejada de forma que se facilitasse a identificação dos desvios de cada *offset angular* e da latência. O planejamento de aquisição seguiu os procedimentos apresentados anteriormente neste trabalho. O detalhe de cada uma delas pode ser visualizado na caderneta de campo no anexo 1.

Tabela 3 - Configuração das linhas, seção de visualização e topografia do levantamento.

Calibragem	Linhas	Topografia	Rumo	Velocidade (nós)	Seção
Latência	004	Declive regular e bem definido	083	4	Paralela
	006		083	2	
Roll	004	Plano regular	083	4	Ortogonal
	001		277	4	
Yaw	000	Declive regular e artefato bem definido	083	4	Paralela
	004		083	4	
Pitch	004	Declive regular e artefato bem definido	083	4	Paralela
	001		277	4	



Figura 22 - Representação das 8 linhas levantadas. A fiada de cor diferente foi realizada a uma velocidade de 2 nós enquanto as demais foram realizadas à 4 nós.

4.4.7 FILTRAGEM AUTOMÁTICA

A superfície foi primeiramente filtrada como um primeiro passo de limpeza (retirada de boa parte dos *spikes* através de um filtro de superfície com valor de $2x$ o desvio padrão (*ThresholdType: Standard Deviation*) (95,44% de certeza) e rejeitando profundidades que não estão na superfície.

4.4.8 FILTRAGEM E CHECAGEM MANUAL

Um segundo processo de limpeza da superfície foi realizado manualmente analisando as sondagens de 5 em 5 metros em busca de retirar *spikes* que não foram removidos pelo filtro anterior ou possíveis artefatos que foram apagados pelo filtro.

4.5 CRIAÇÃO DE SUPERFÍCIES COM ERRO INDUZIDO

As superfícies para análise foram criadas recomputando a superfície original após a inserção de diferentes níveis de desvios e atrasos no seu arquivo de vessel através da ferramenta *Calibration*. Elas possuem a mesma resolução (0.2m) e atributo (*shoal*).

4.5.1 CRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DA INTENSIDADE DOS ERROS UTILIZADOS

Como a superfície possui um gradiente de profundidade limitado (6.0m a 23.0m) e algumas variáveis se comportam de forma mais evidente em maiores profundidades. Para que os efeitos de deslocamento e deformação da superfície se tornassem claros a escolha do nível de intensidade dos desvios e atraso partiu da seguinte perspectiva:

- Nível 1: Primeira mudança visual de descasamento entre as linhas;
- Nível 2: Descasamento das linhas;
- Nível 3: Descasamento exagerado das linhas;

4.4.9 ANÁLISES DOS PRODUTOS GERADOS

Com as superfícies geradas, foi estudado os deslocamentos e deformações, causados pelo aumento do nível de intensidade de desvio ou atraso de cada variável. Para isso foram executados três tipos de análises sobre um ou mais artefatos identificados na superfície.

Primeiramente foi realizado uma análise visual onde é comparado os efeitos da variável na superfície gerada com as sondagens de cada linha, visualizando sua nuvem

de pontos de sondagem no *subset editor*. Esta aproximação teve como objetivo identificar como se comportou a construção da superfície *shoal* com o decorrer do descasamento das linhas.

Em seguida foi feita uma análise gráfica através de perfis sobre artefatos estudados na análise anterior. Este perfil evidencia a variação lateral e vertical da estrutura além apresentar de forma clara como a superfície se deforma ao longo do perfil com o incremento dos níveis de intensidade dos erros aplicados para cada variável.

Por último, para a análise estatística é construído um gráfico de densidade do nível de diferença entre a superfície alterada e a superfície calibrada. Neste último estudo buscou-se apresentar como a profundidade se modificou ao longo de toda superfície nos diferentes níveis aplicados para cada variável, além de como pode ser interpretado as modificações em cada curva de densidade.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a aplicação das etapas desta metodologia. Inicialmente, foi realizado o *patch test* para demonstração do processo e obtenção dos valores de calibração da superfície. Posteriormente, foram realizadas análises sobre as superfícies criadas com alterações na calibração como explicado anteriormente.

5.1 SUPERFÍCIE BRUTA E REGIÕES DE ANÁLISE

A figura abaixo representa a superfície batimétrica de referência com atributo *shoal* e sem ter passado por nenhum processo de limpeza ou calibração. A superfície possui 730 m de comprimento por 200 de largura, um gradiente leve ($\approx 1^\circ$) que se inicia entre 6 m de profundidade na região mais rasa e atinge em torno de 23 m na região mais profunda.

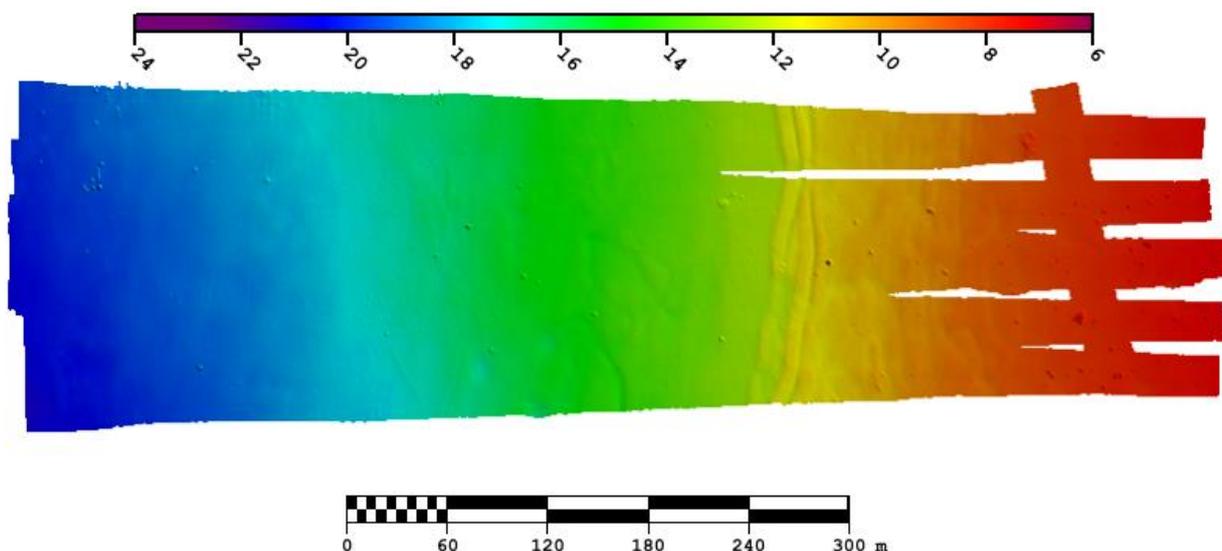


Figura 23 - Representação da superfície batimétrica bruta criada utilizando o algoritmo CUBE e o atributo Shoal.

Mesmo antes da limpeza é possível evidenciar algumas estruturas na superfície que são interessantes para a realização do *patch test* e análises posteriores. (Figura 24). A Região 1 é caracterizada por um gradiente leve ($\approx 2^\circ$) que representa a borda do canal principal da Baía de Guanabara (Figura 25.a), nesta região cinco linhas imageiam a área paralelamente, sendo uma delas percorrida no sentido oposto e uma contendo uma de velocidade menor que as demais (Figura 25.b). Na Região 2 foi encontrado um pequeno artefato em depressão de 2.5 m na sua sessão mais comprida por 1.5 m contendo 40 cm de profundidade a mais que a região em sua volta (Figura 26.a). Este artefato por sua vez está localizado nos feixes externos de duas linhas recíprocas. Já a Região 3 localizada sobre um pequeno artefato redondo de 2 m de diâmetro em uma região de 18.5 metros de profundidade é sondada por 3 linhas sobrepostas sendo duas coincidentes e uma coincidente e recíproca as demais (Figura 27a e b).

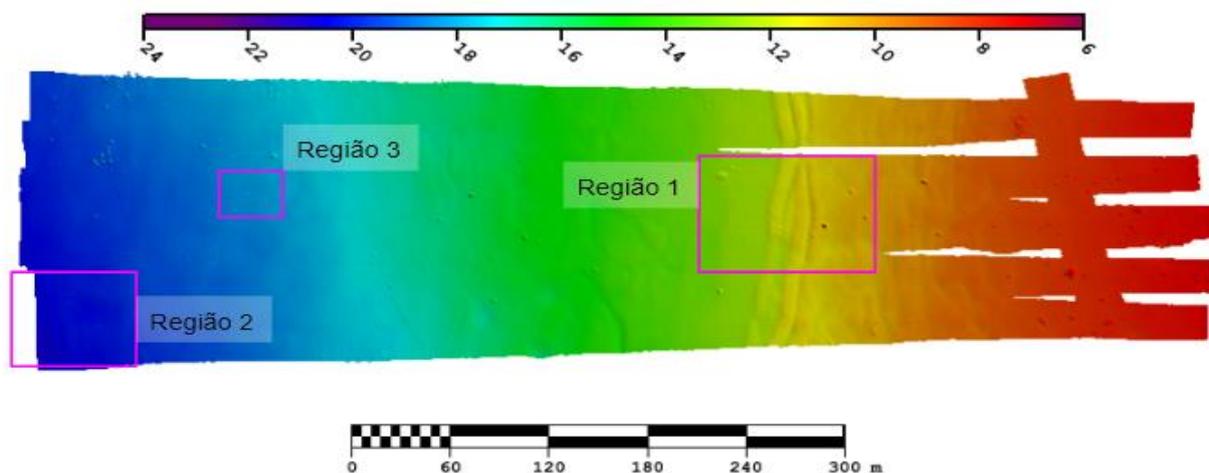


Figura 24 - Localização das 3 Regiões de destaque identificadas na superfície.

Dentre estas superfícies as que se destacam três: A borda do Canal da Baía de Guanabara (Figura 25), uma pequena depressão (Figura 26) e um artefato circular (Figura 27).

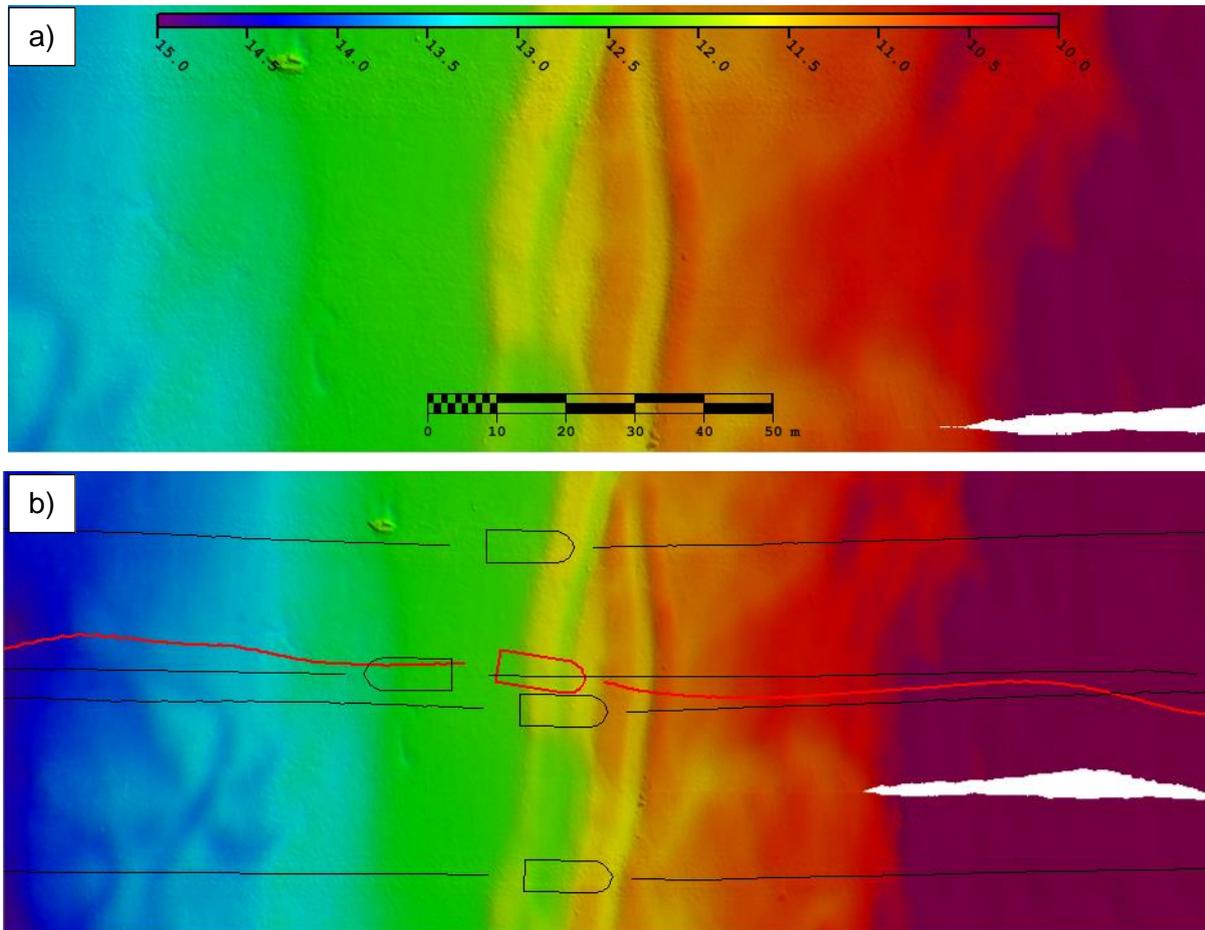
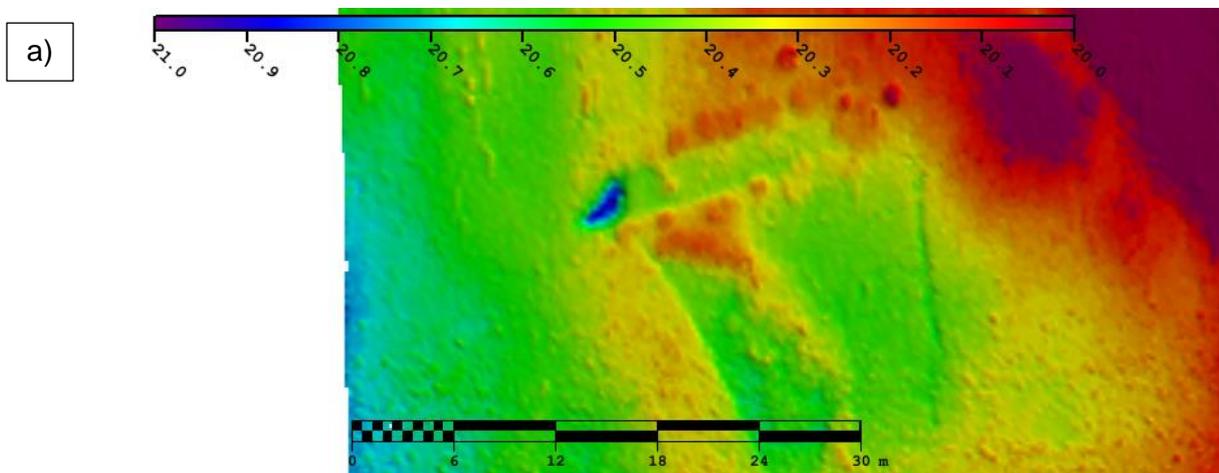


Figura 25 - Representação da Região 1. a) Gradiente da borda do canal principal da Baía de Guanabara com profundidade entre 10 e 12 metros e possui em torno de 30 m. b) Esta região é imageada pelas linhas 0,1 (sentido contrário às demais), 2,4 e 6 (em vermelho, possui menor velocidade).



b)

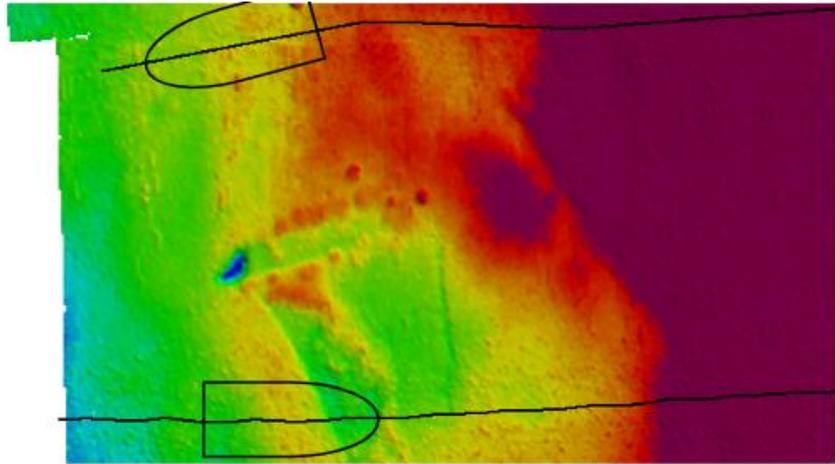


Figura 26 - Representação da Região 2 a) Marcas de arraste e uma pequena depressão na região mais profunda do dado entre 20 e 22 metros. b) Esta região é imageada pelos feixes externos das linhas 0 e 5.

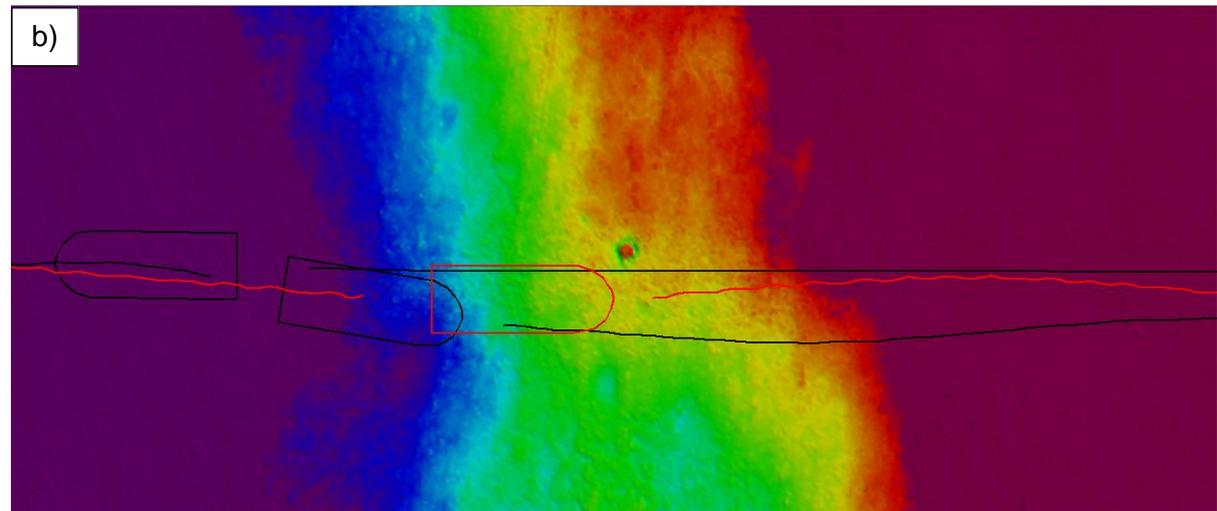
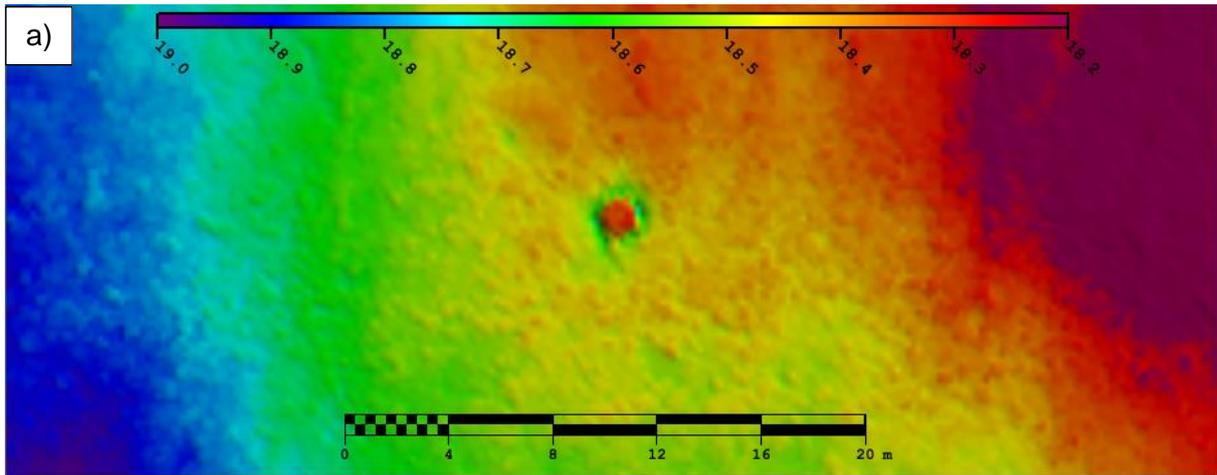


Figura 27 - Representação da Região 2. a) Um artefato de 2 metros de diâmetro localizado em uma região mais plana na superfície. b) Este artefato é imageado pelos feixes centrais das linhas 1 (Sentido contrário às demais), 6 (em vermelho, possui menor velocidade) e 4.

5.2 PATCH TEST

5.2.1 PATCH TEST DE LATÊNCIA

O *patch test* de Latência foi realizado através de um *slice* paralelo às linhas 004 e 006 (linhas sobrepostas de mesmo sentido) sobre seus feixes centrais, onde há uma ondulação no gradiente entre 10 e 12 m de profundidade como mostra a Figura 28.

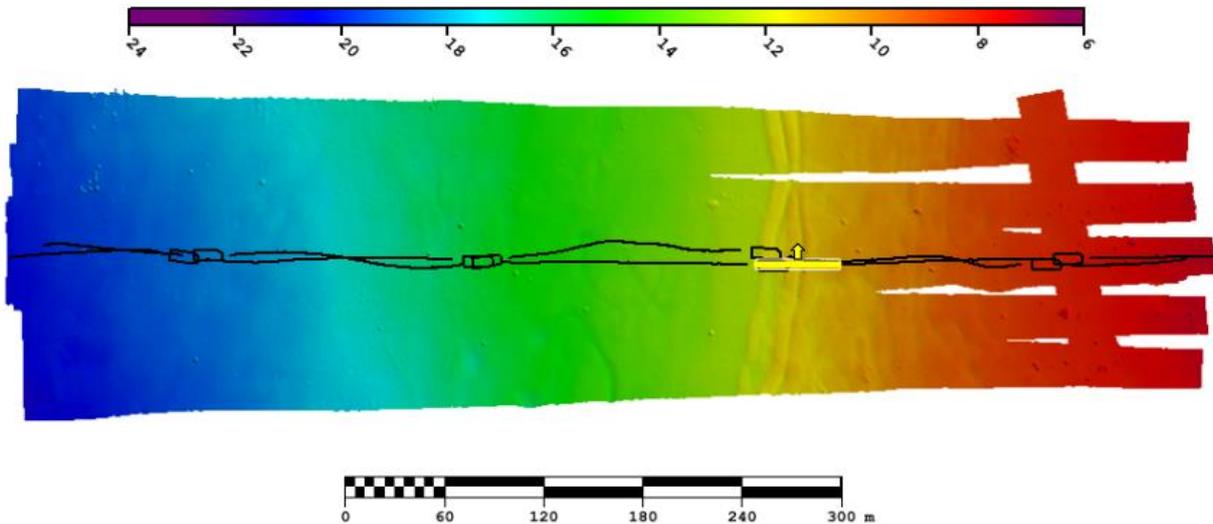


Figura 28 - Representação das linhas utilizadas para o patch teste de latência. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de latência no dado.

Durante o *patch test* de Latência, não foi encontrado nenhum atraso no tempo entre o transdutor e a navegação como pode ser visto na Figura 29. O que já era esperado devido a utilização do Cabo PPS que sincroniza os sensores.

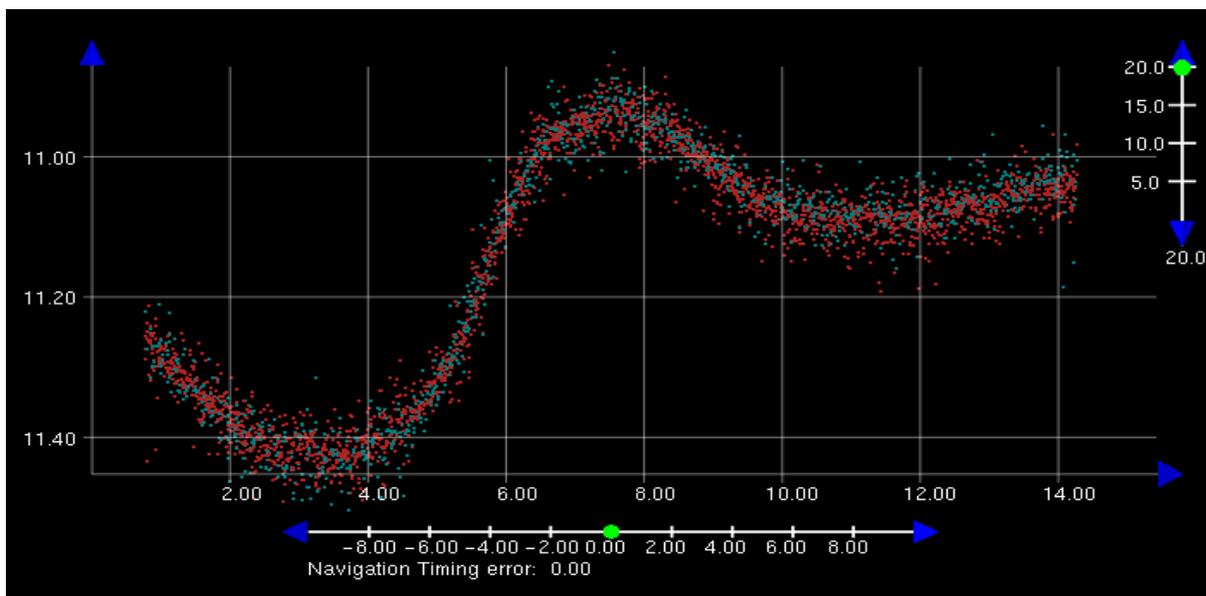


Figura 29 - Visualização do slice das linhas 4 (azul) e 6 (vermelha) na ferramenta Calibration do Subset Editor. Não foi observado atrasos entre os sensores.

5.2.2 PATCH TEST DE ROLL

O *patch test* de *roll* foi realizado através de um *slice* ortogonal às linhas 004 e 001 (linhas sobrepostas de sentidos opostos), onde há uma região plana com um leve gradiente entre 13 e 15 m de profundidade como mostra a Figura 30. A análise ocorreu ao longo dos feixes de ambas as linhas verificando de metro a metro a ocorrência de cruzamento dos feixes.

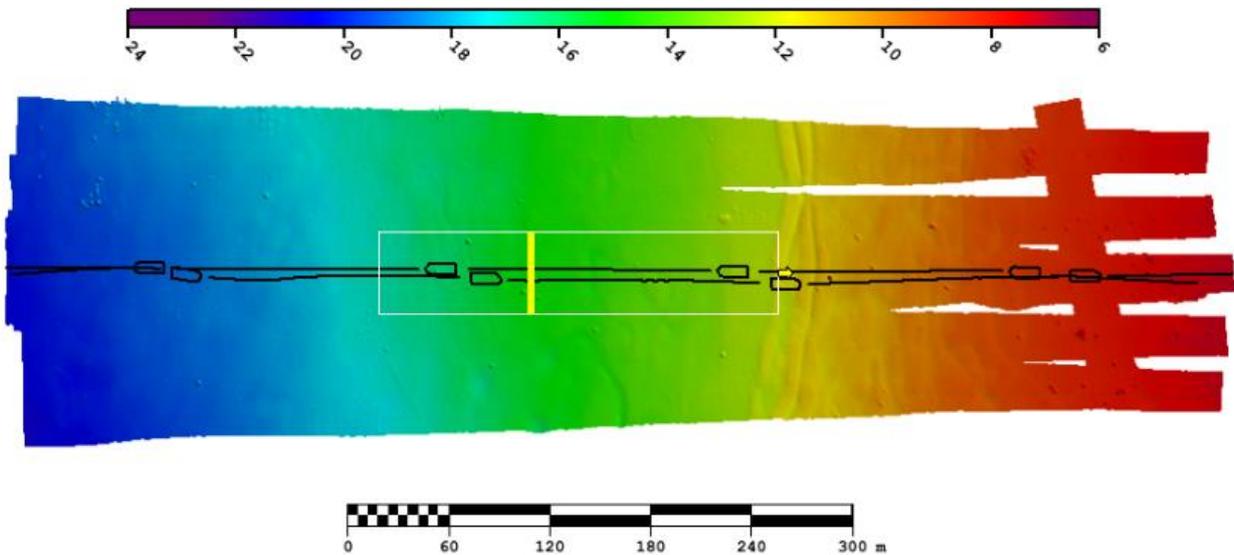


Figura 30 - Representação das linhas 4 e 1, utilizadas para o patch teste de roll. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em roll no dado.

Durante o *patch test* de *roll*, foi encontrado um pequeno cruzamento dos feixes ao longo das linhas como pode ser verificado na Figura 31.a. O desvio foi corrigido ao inserir $+0,03^\circ$ no offset de *roll*, o que garantiu o casamento das linhas na maior parte dos *slices* como é mostrado na figura 31.b.

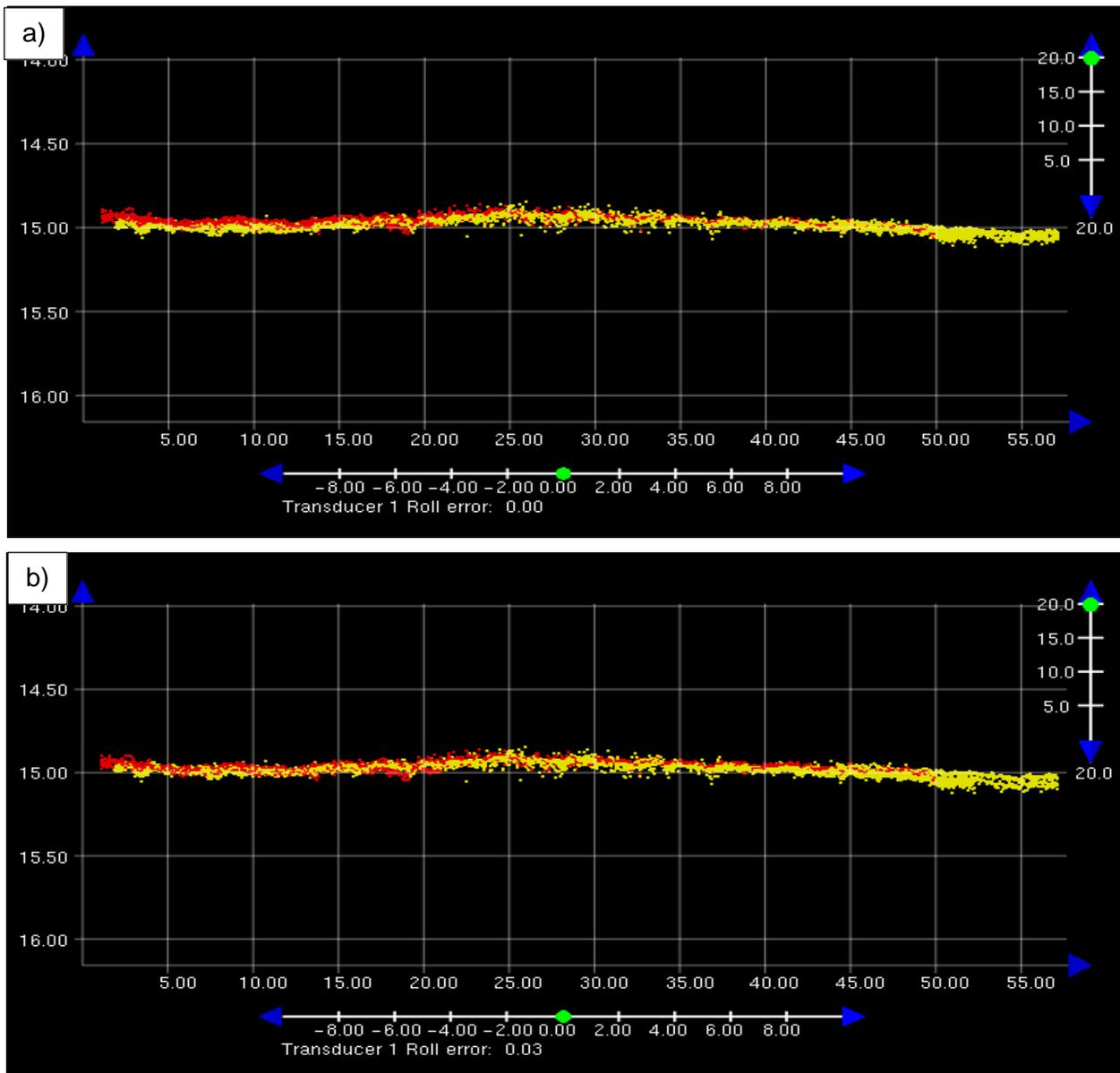


Figura 31 - Visualização do slice das linhas 1 (vermelho) e 4 (amarelo) na ferramenta Calibration do Subset Editor. a) Cruzamento das linhas 1 e 4 identificado. b) Desvio corrigido com a inserção de $+0.03^\circ$

5.2.3 PATCH TEST DE YAW

O *patch test* de yaw foi realizado através de um *slice* paralelo às linhas 004 e 000 (linhas de mesmo sentido), onde há uma ondulação singular na base da borda do canal principal a 12.2 m de profundidade como mostra a Figura 32. A análise ocorreu nos feixes externos de ambas as linhas verificando se houve a ocorrência de descasamentos dos feixes.

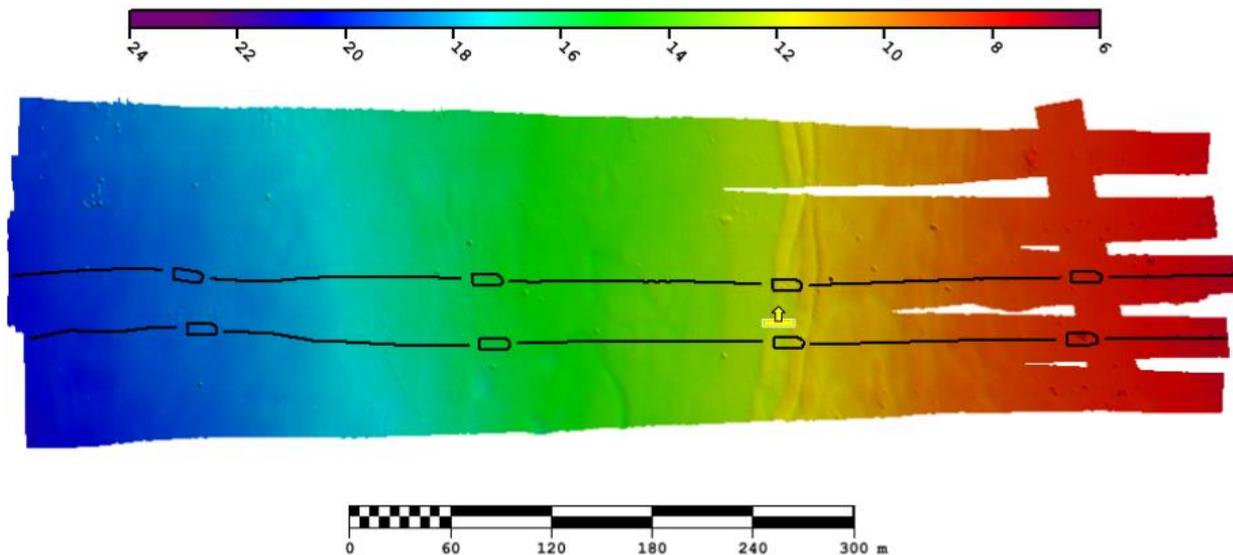


Figura 32 - Representação das linhas 4 e 0, utilizadas para o patch teste de yaw. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em yaw no dado.

Durante o *patch test* de yaw, não foi encontrado descasamento dos feixes externos das linhas como pode ser verificado na Figura 33. Também por se tratar de um artefato raso, se torna menos aparente a ocorrência de desvios neste *offset* angular.

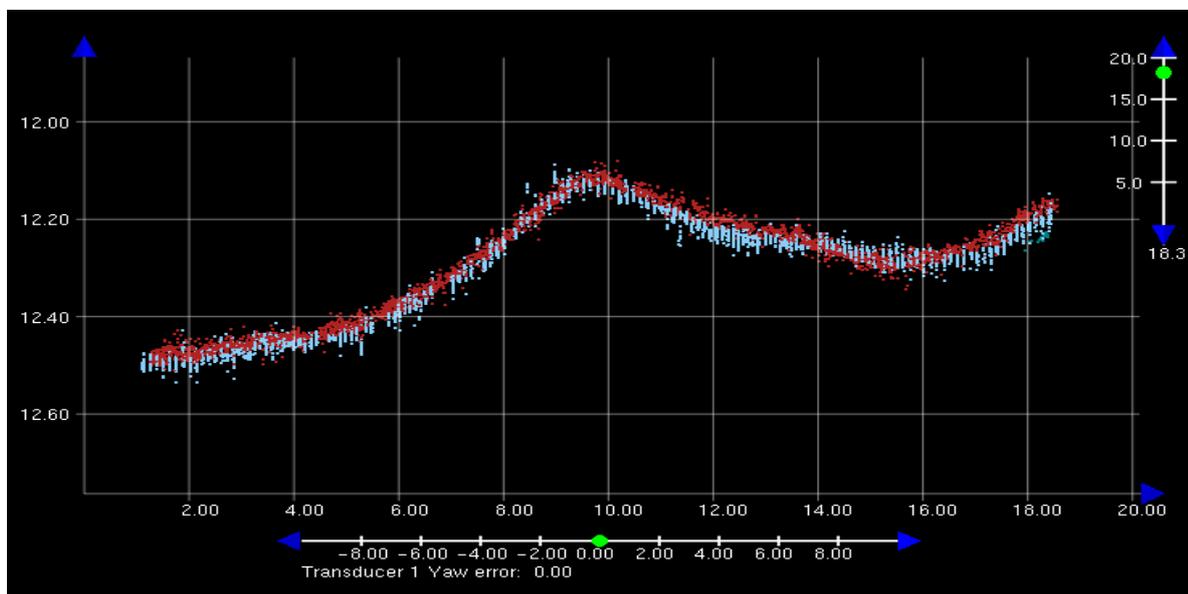


Figura 33 - Visualização do slice das linhas 4 (vermelha) e 0 (azul) na ferramenta Calibration do Subset Editor.

5.2.4 PATCH TEST DE PITCH

O *patch test* de pitch foi realizado através de um *slice* paralelo às linhas 004 e 001 (sobrepostas de sentidos opostos), onde há uma ondulação no gradiente entre 11 e 11.4 m de profundidade como mostra a Figura 34. A análise ocorreu nos feixes centrais de ambas as linhas, na mesma região que o *patch teste* de latência, verificando se houve a ocorrência de descasamentos dos feixes.

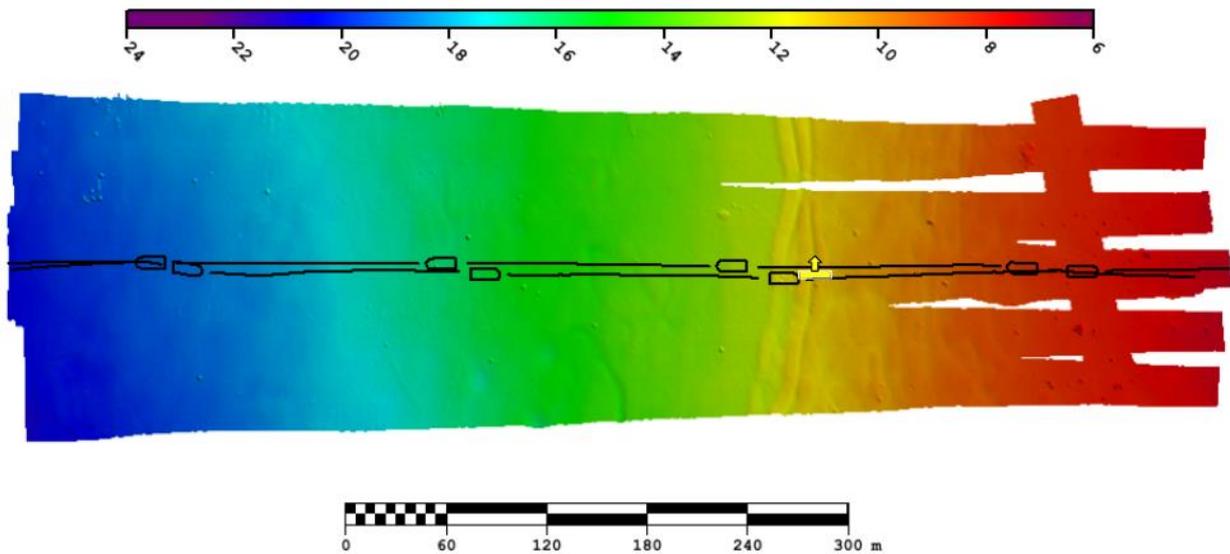


Figura 34 - Representação das linhas 4 e 1, utilizadas para o patch teste de pitch. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em pitch.

Durante o *patch test* de *pitch*, não foi encontrado descasamento dos feixes centrais das linhas como pode ser verificado na Figura 35. Mas sua não identificação é associada a profundidade do artefato (11m) o que levou a necessidade de se analisar em um local mais profundo na superfície.

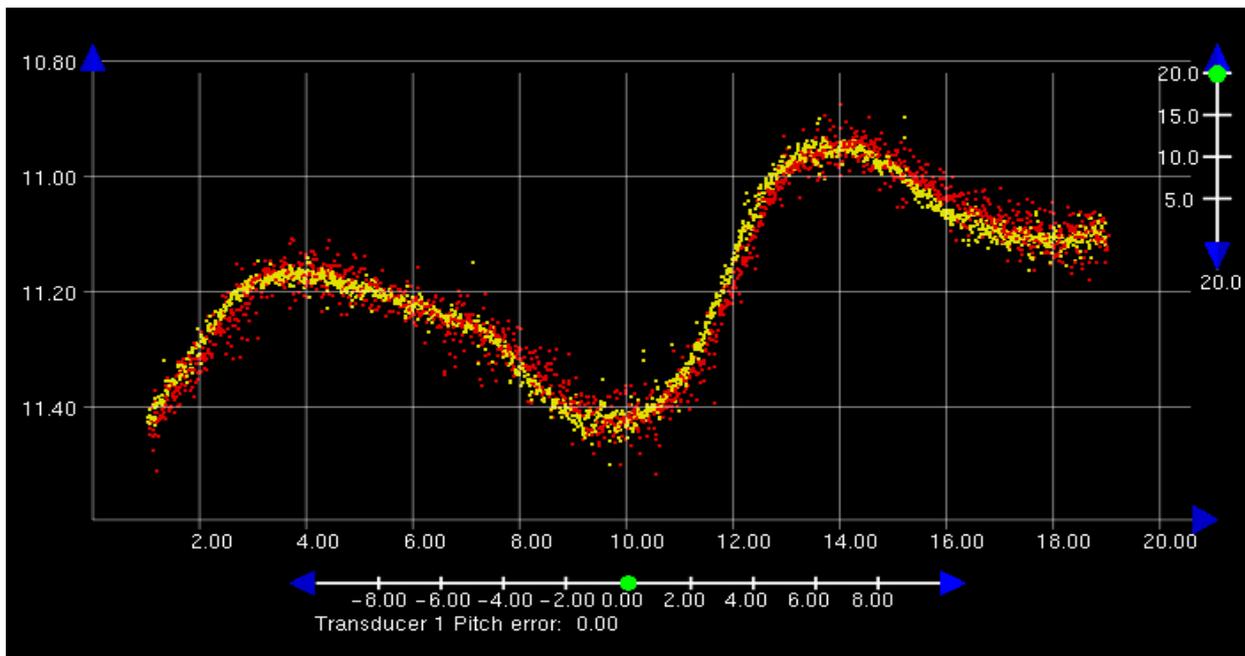


Figura 35 - Visualização do slice das linhas 1 (vermelho) e 4 (amarelo) na ferramenta Calibration do Subset Editor. Não foi observado desvios em pitch.

Ao verificar o desvio em *pitch* em um local mais profundo (18.4m) sobre um artefato bem definido de dois metros de diâmetro (Figura 36) foi identificado um desvio positivo em *pitch* de 0.5° (Figura 37.a e 37.b). Confirmando a teoria explicada

anteriormente que a contribuição do erro em *pitch* aumenta fortemente com o incremento da profundidade.

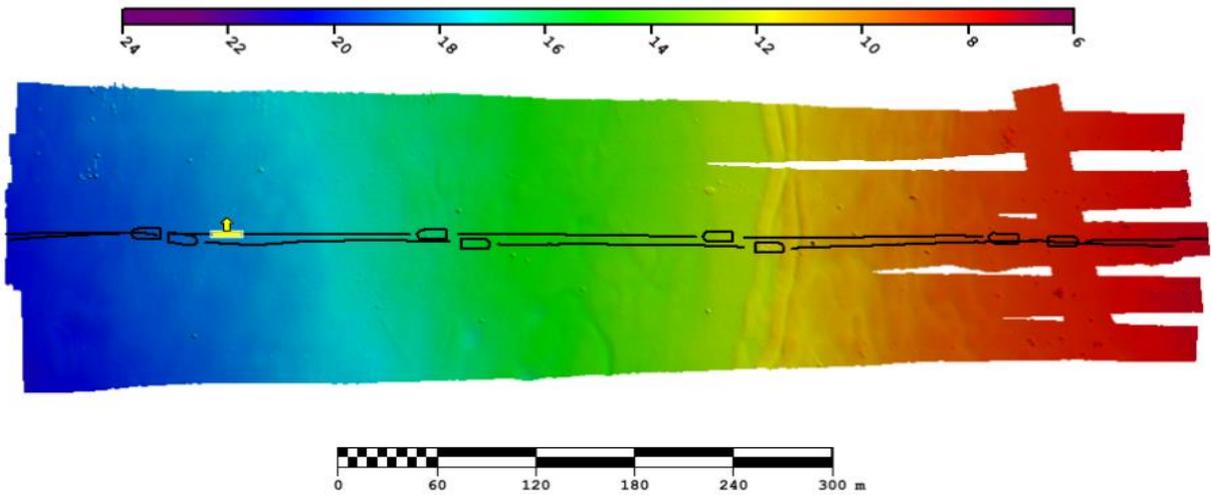


Figura 36 - Representação das linhas 4 e 1, utilizadas para o patch teste de *pitch*. O retângulo amarelo indica a área onde foi realizada a verificação de desvio em *pitch*.

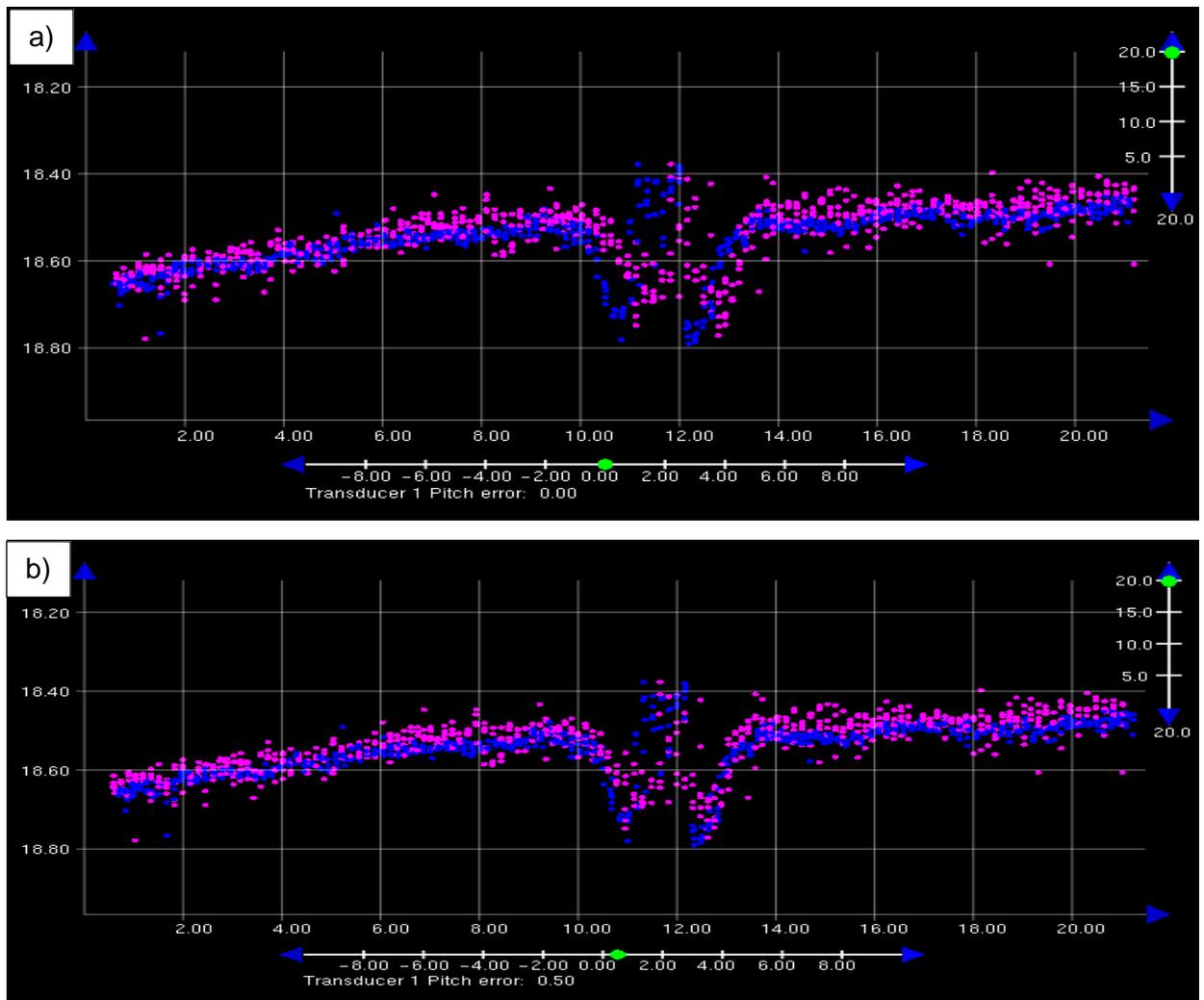


Figura 37 - Visualização do slice das linhas 1 (azul) e 4 (roxo) na ferramenta Calibration do Subset Editor. a) Descasamento das linhas 1 e 4 identificado. b) Desvio corrigido com a inserção de +0.5°.

5.2.5 VALORES CORRIGIDOS DO *PATCH TEST*

Ao finalizar os procedimentos do *patch teste* foi obtido os seguintes valores de correção para cada variável analisada:

Tabela 4 - Valores de correção obtidos no *Patch test*.

Variável	Latência	Roll	Yaw	Pitch
Correção	0 s	+0,03°	0°	+ 0.5°

5.3 DIFERENÇA ENTRE A SUPERFÍCIE CALIBRADA E DESCALIBRADA

Após a finalização do *patch test*, para evidenciar as diferenças batimétricas entre as superfícies calibrada e descalibrada, foi realizada filtragens automáticas e manuais para a retirada de sondagens espúrias (Figura 38.a e 38.b).

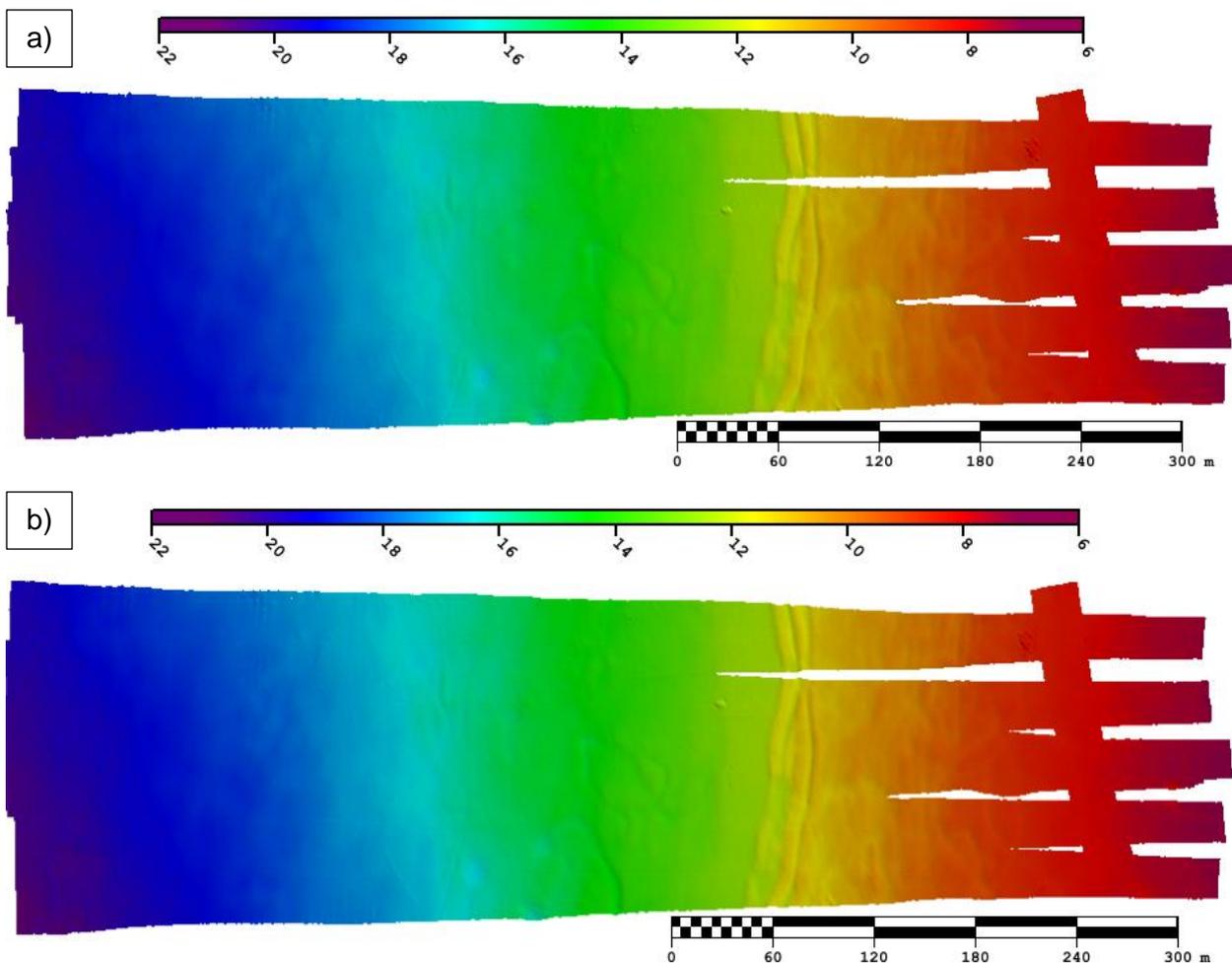


Figura 38- Representação das superfícies após filtragem. a) Descalibrada b) Calibrada.

Para melhor visualização das diferenças foi então calculada uma superfície diferença entre as superfícies (Figura 39) e escolhida uma escala de cores que

destacasse claramente 4 intervalos de valores de diferença, sendo eles: 0 a 2 cm (cor verde), 2 a 5 cm (amarelo), 5 a 10 cm (laranja) e maior que 10 cm (vermelho).

Nesta superfície foi evidenciado uma concentração de diferenças maiores que 2cm em duas regiões. Sendo a primeira região localizada nos feixes externos das linhas, relacionados a correção em *roll* (+0.03°), e a segunda localizada nos feixes centrais sob influência da correção em *pitch* (+0.5°). Nas regiões mais heterogêneas, como as ondulações na superfície, foi identificado valores maiores que 5cm de diferença entre as superfícies, causados principalmente pelos deslocamentos horizontais entre os artefatos nas superfícies.

Ao analisar estatisticamente os dados da superfície diferença (Figura 40) foi constatado que 66% dos dados possuíram uma diferença maior ou igual a 1 cm e 12% dos dados tiveram uma diferença maior ou igual a 2 cm.

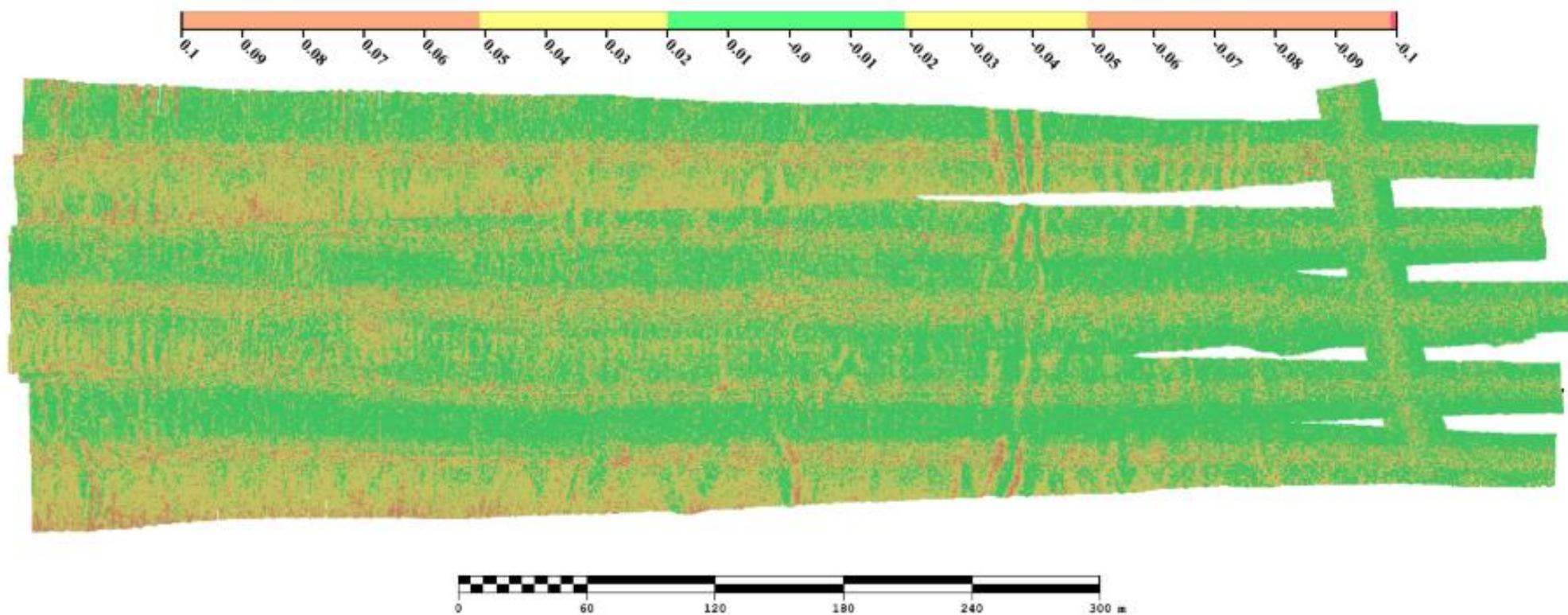


Figura 39 - Superfície diferença entre a Superfície Calibrada Filtrada e a Superfície Descalibrada Filtrada.

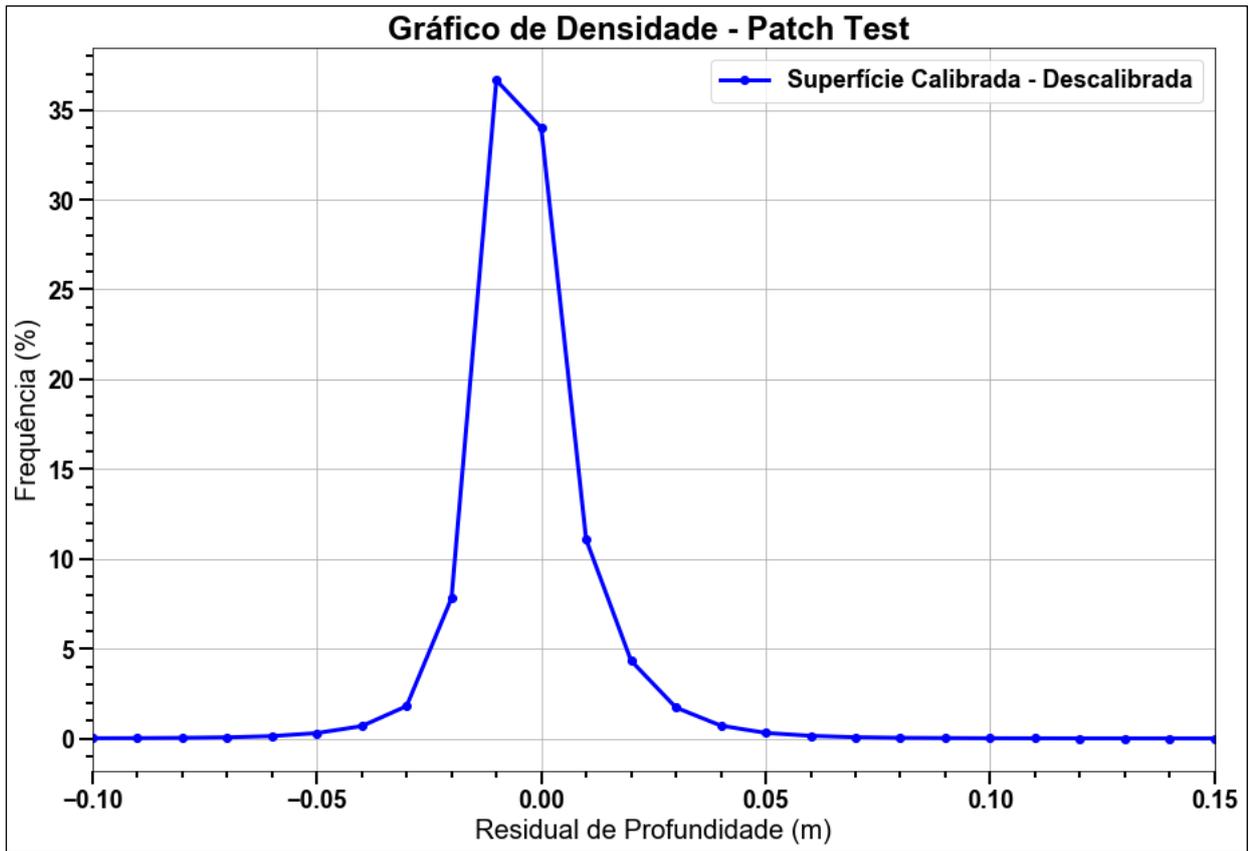


Figura 40 - Gráfico de Densidade das diferenças de profundidade entre a superfície Calibrada e Descalibrada.

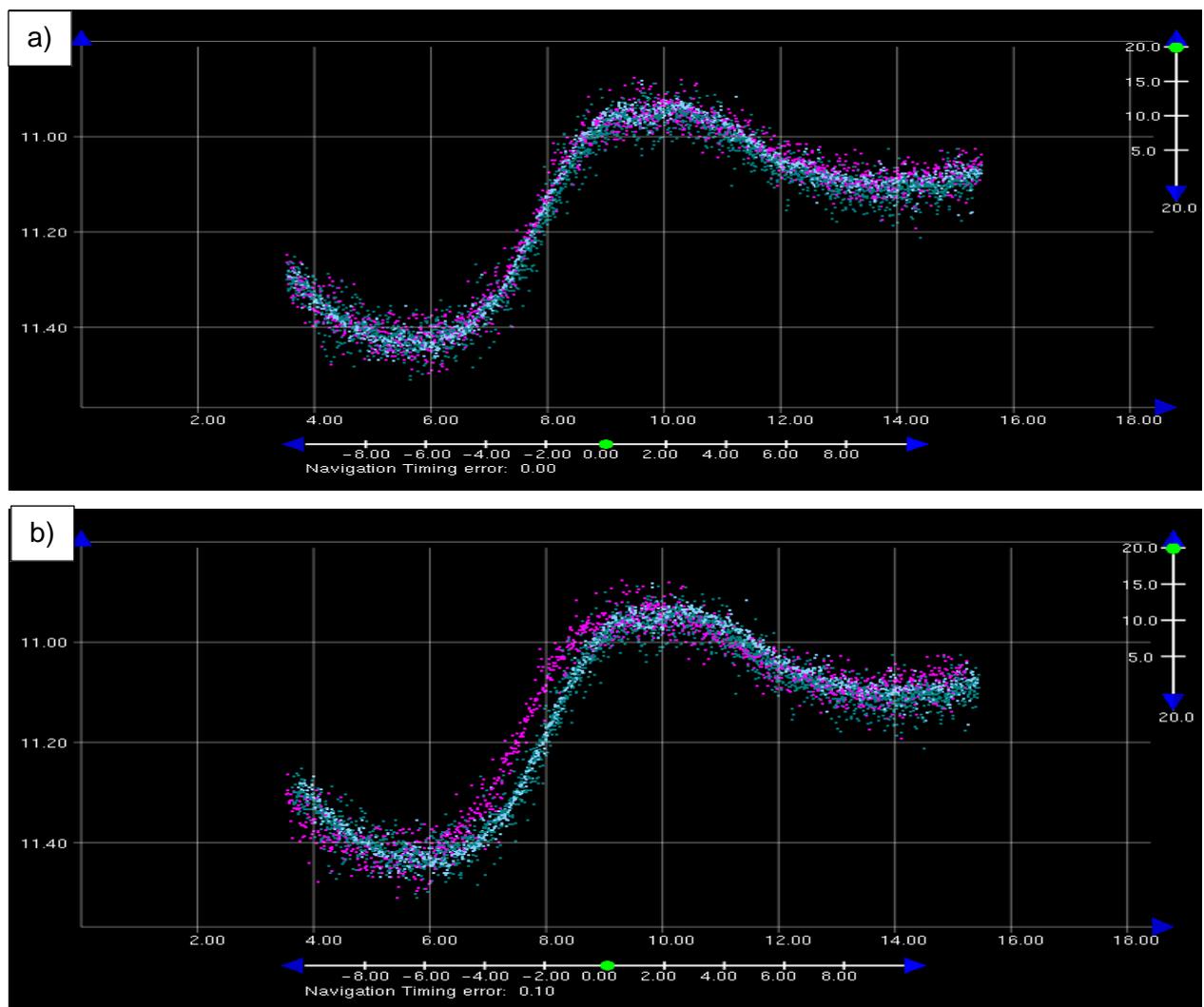
5.4 ANÁLISES DA INFLUÊNCIA INDIVIDUAL DOS DESVIOS NOS OFFSETS ANGULARES E LATÊNCIA ENTRE OS SISTEMAS

5.4.1 ANÁLISE DE LATÊNCIA

Para se analisar os efeitos dos atrasos de tempo foi realizado um *slice* (com o *subset* editor) sobre local de análise do *patch test* de latência e induzido três valores de atraso, sua seleção e valores podem ser visualizados na Tabela 5 e figura 41.

Tabela 5 - Tabela dos níveis de Latência inseridos.

Nível	Valor Inserido (segundos)	Valor Absoluto (segundos)
1	0.1	0.1
2	0.5	0.5
3	1.0	1,0



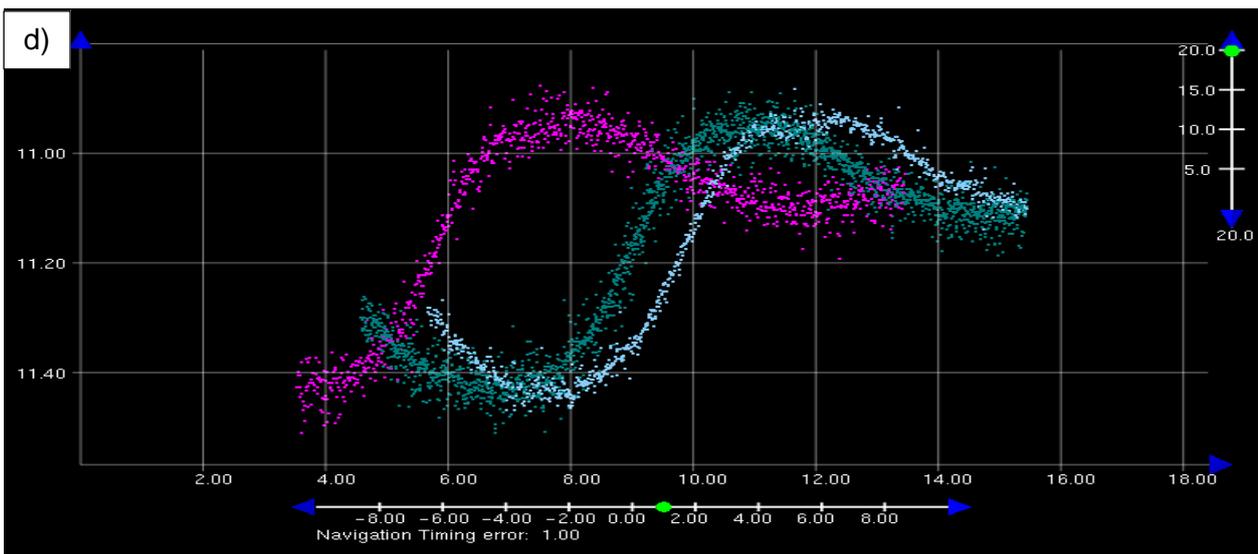
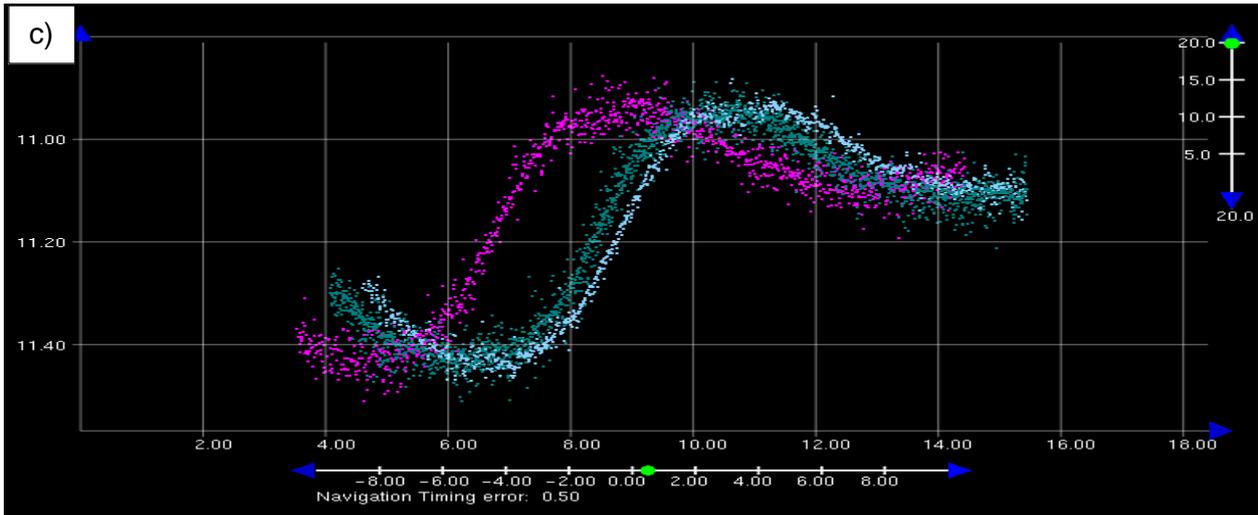


Figura 41 - Visualização do descasamento das linhas 6 (ciano escuro), 4 (ciano claro) e 1 (roxo). a) Latência calibrada (0.0s). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 0.1s. c) Descasamento evidente das linhas, Nível 2 = 0.5s. d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 1.0s.

O incremento do atraso e comunicação entre os sistemas causou deslocamentos que deformaram a superfície de maneira a criar ondulações na Região 1 e mascararam a pequena depressão localizada na Região 2, a evolução dessas deformações pode ser vista na Figura 42.

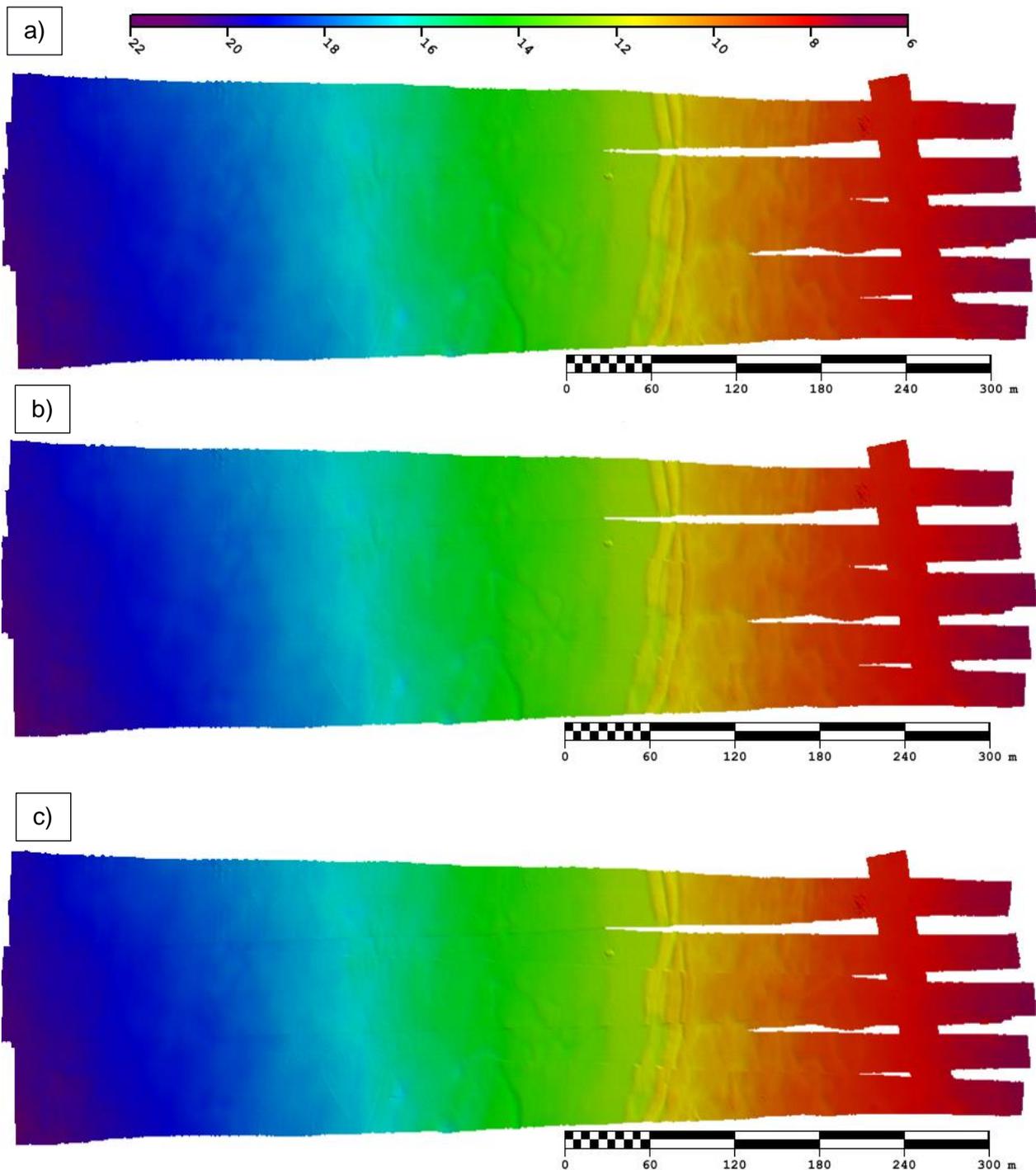
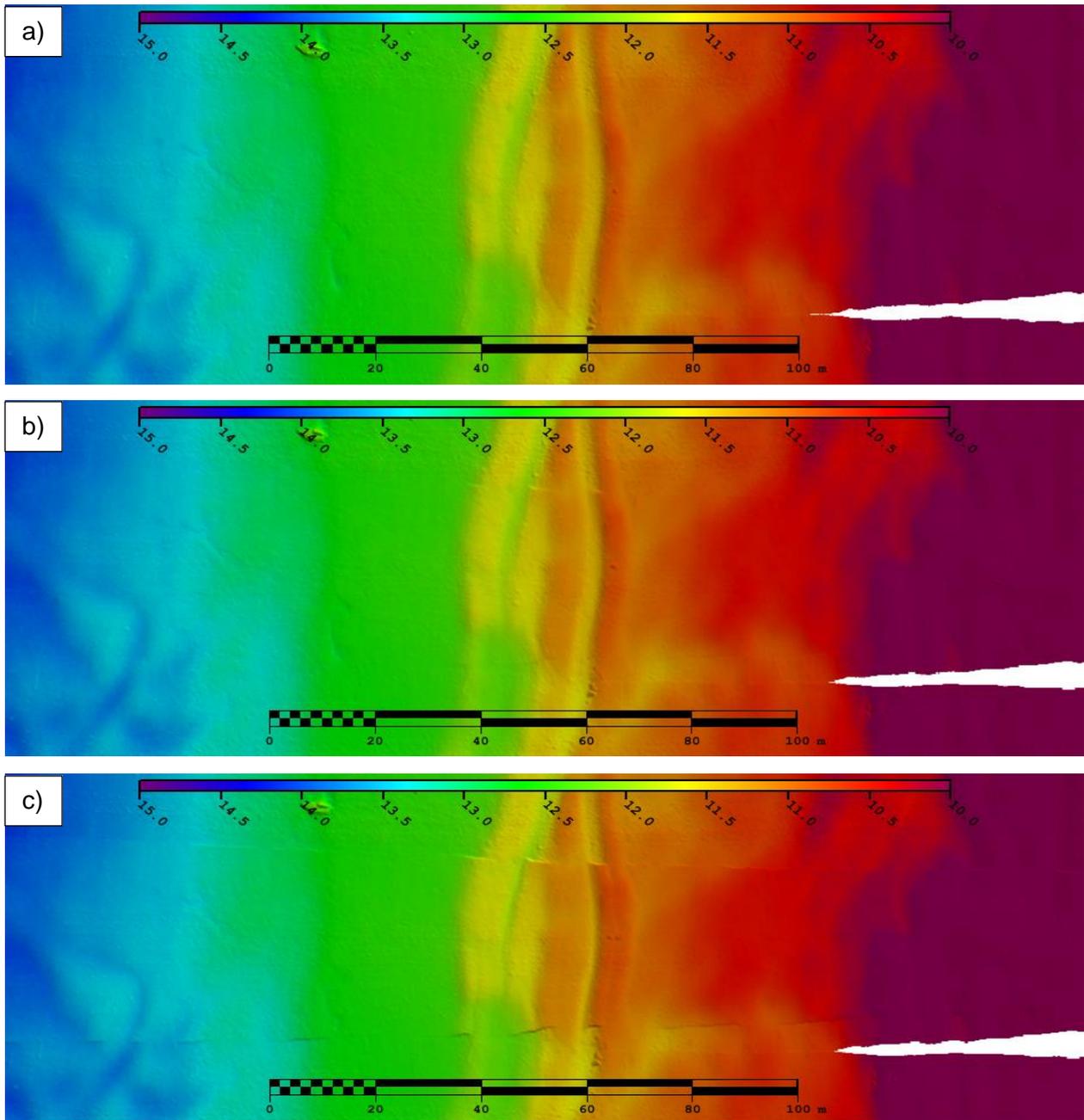


Figura 42 - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de Latência. a) Nível 1 = 0,1 s. b) Nível 2 = 0,5 s. c) Nível 3 = 1.0 s.

O incremento do atraso e comunicação entre os sistemas causou deslocamentos que deformaram a superfície de maneira a criar ondulações na Região 1 e mascararam a pequena depressão localizada na Região 2, a evolução dessas deformações pode ser vista na Figura 42.

Ao analisar a Região 1, notou-se que o incremento do atraso ocasionou nas linhas um deslocamento das ondulações na direção das linhas de aquisição que evoluiu gradativamente com o incremento de latência (Figura 43).



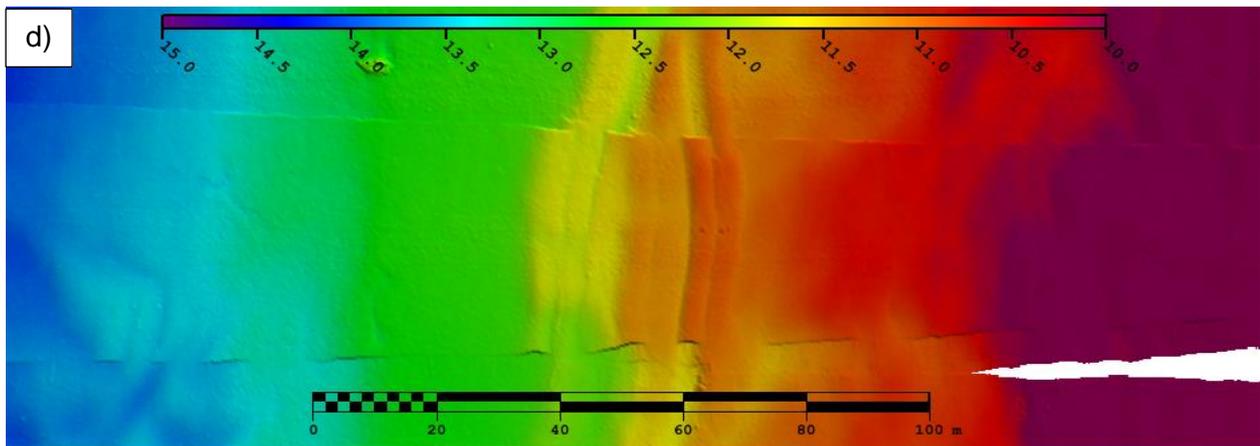


Figura 43 - Visualização da Região 1 e suas deformações com o aumento do nível de latência. a) Nível 1 = 0,1 s. b) Nível 2 = 0,5 s. c) Nível 3 = 1.0 s.

Esse deslocamento ocorreu devido às velocidades e rumos das linhas durante a aquisição, que com o sistema dessincronizado causam dupla detecção da estrutura. Para a identificação visual deste efeito foi necessária uma latência de 0.5s entre sistema de navegação e o transdutor, onde ocorre o descasamento das linhas. Este descasamento por sua vez gerou uma estrutura múltipla no sentido da linha de 1, contrária às demais linhas (Figura 44).

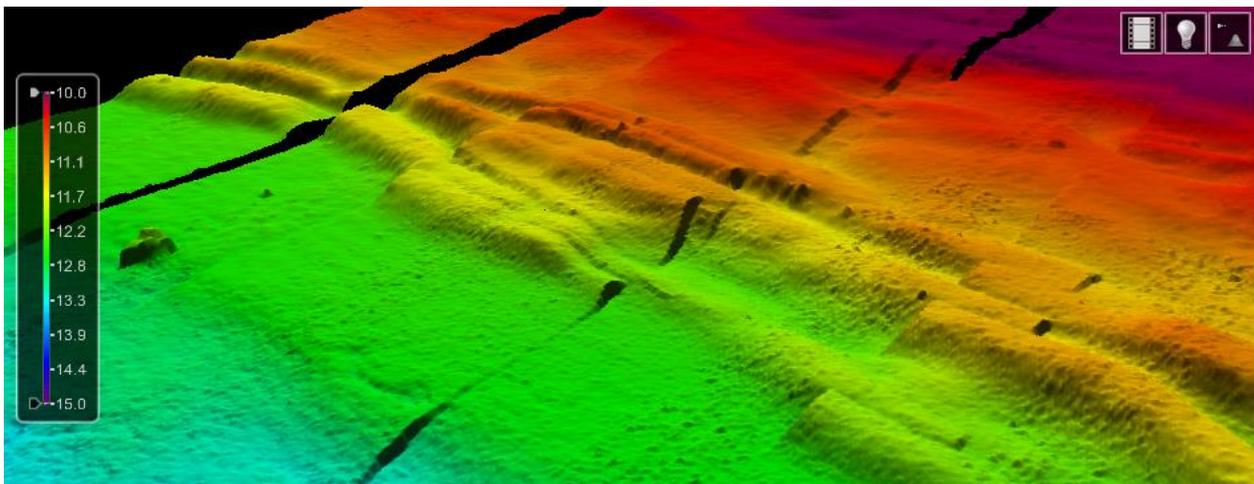


Figura 44 - Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 1.0 s latência e exagero vertical de 5 vezes.

Foi realizado um perfil sobre a estrutura (Figura 45), e com ele foi evidenciado um deslocamento horizontal do cume da formação a cada nível (Figura 46).

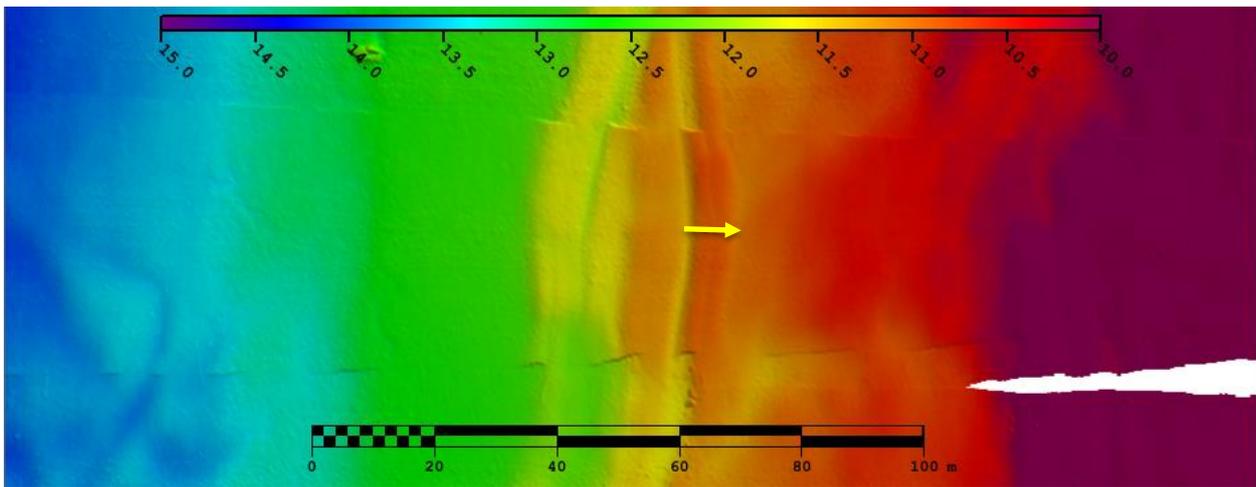


Figura 45 - Visualização do local onde foi realizado o perfil de análise de Latência na Região 1.

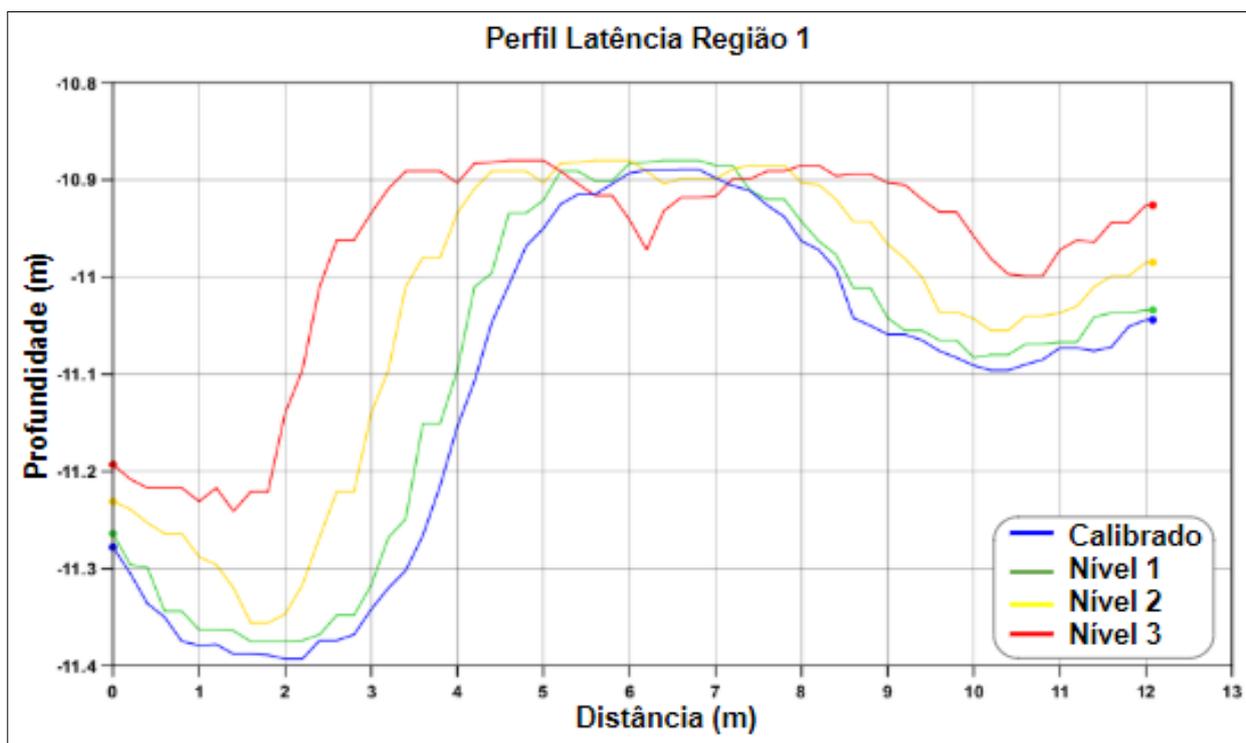


Figura 46 - Perfil realizado sobre a estrutura da Região 1 em cada superfície.

Esse deslocamento segue coerente com a velocidade da embarcação (4 nós ou 2.05m/s) onde no nível 1 (0.1s) o cume se alarga 0.2m, nível 2 (0.5s) ocorre a separação de 2m entre os cumes e no nível 3 (1.0s) essa separação aumenta para 3.5~4m.

Não houve deslocamento vertical da estrutura com o aumento do atraso, contudo a movimentação horizontal da estrutura causou um descasamento das linhas que agora por possuírem uma nuvem de pontos mais rasa fez com que o atributo *shoal* escolhesse esta detecção como real (Figura 47).

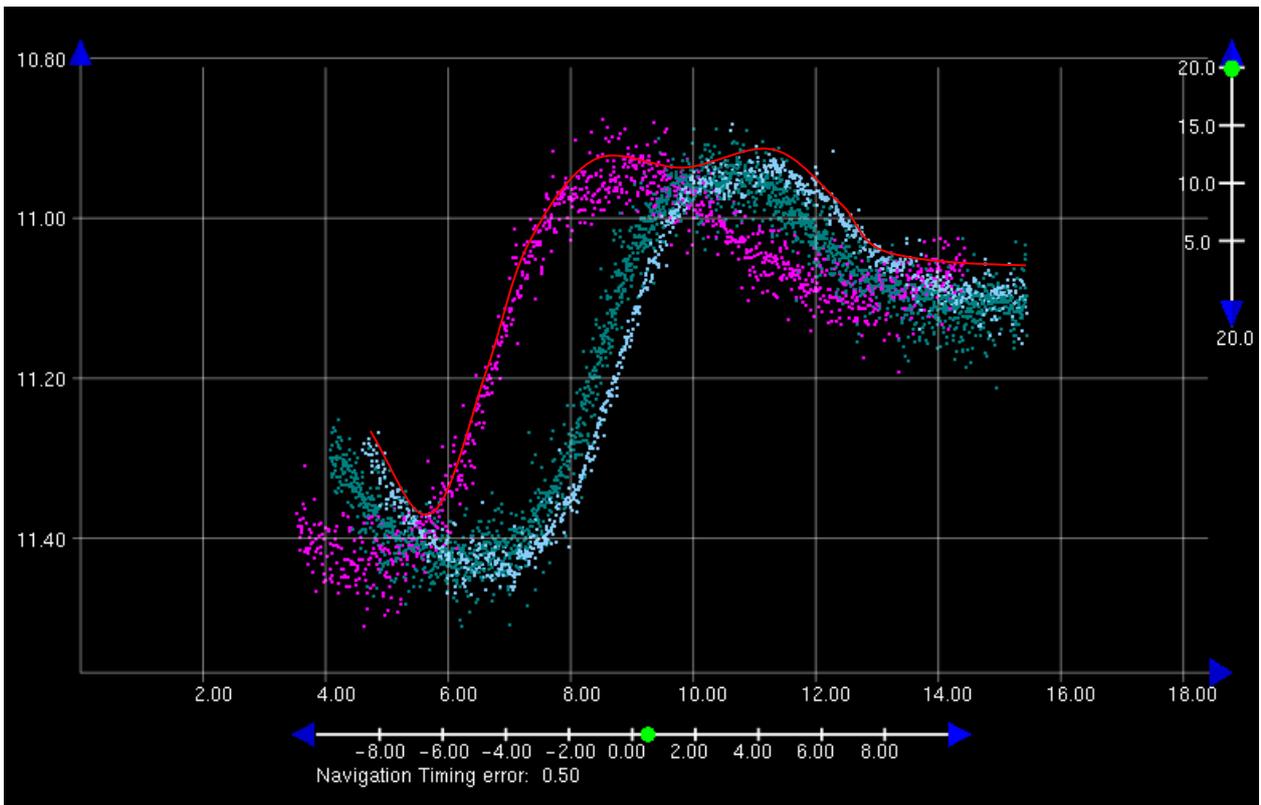
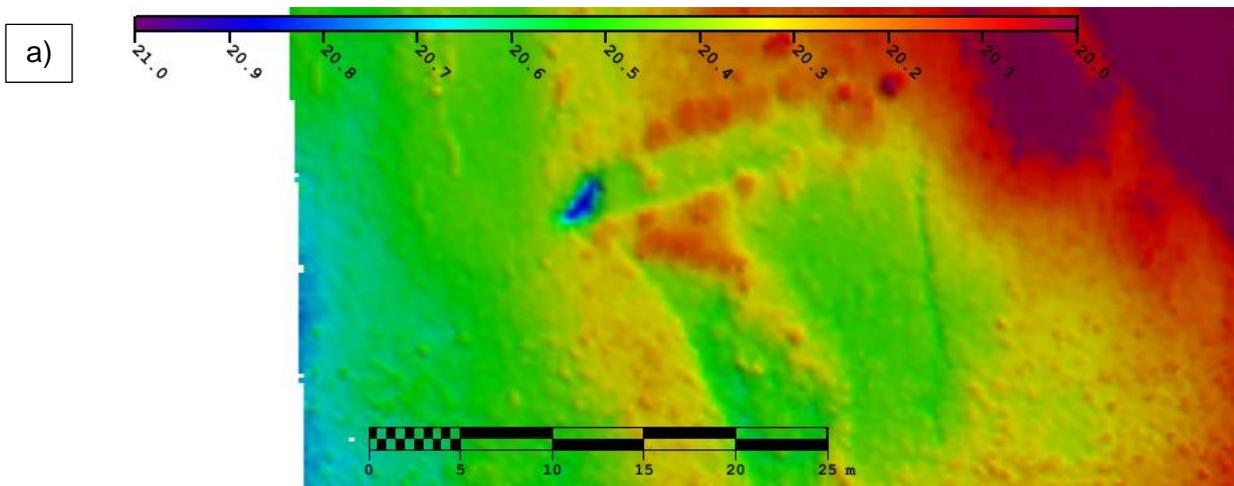


Figura 47 - A região demarcada em vermelho evidencia a nuvem de pontos selecionados pelo Atributo Shoal na confecção da estrutura.

O mesmo evento ocorre na Região 2 (mais profunda, Figura 48) o incremento de latência de 0.5s deslocou a posição da estrutura de tal forma que as sondagens mais rasas de uma linha, sobrepõem as sondagens mais profundas sobre estrutura na linha adjacente assim mascarando a existência da depressão naquela região (Figura 49 e 50).



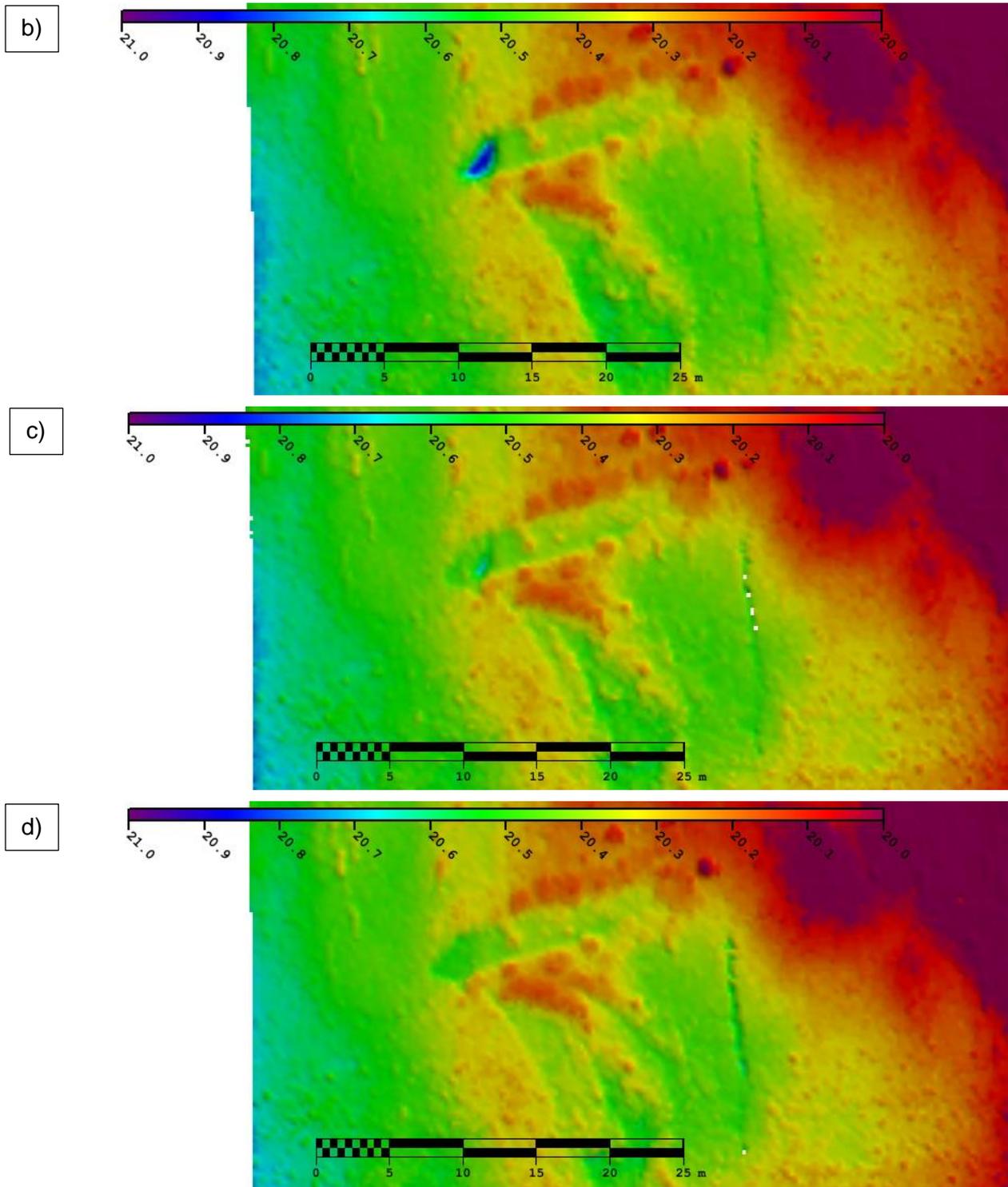


Figura 48 - Representação da deformação das superfícies com o aumento do tempo de atraso entre os sistemas de navegação e aquisição. a) Latência calibrada. b) Nível 1 = 0.1 s. c) Nível 2 = 0.5 s. d) Nível 3 = 1.0 s.

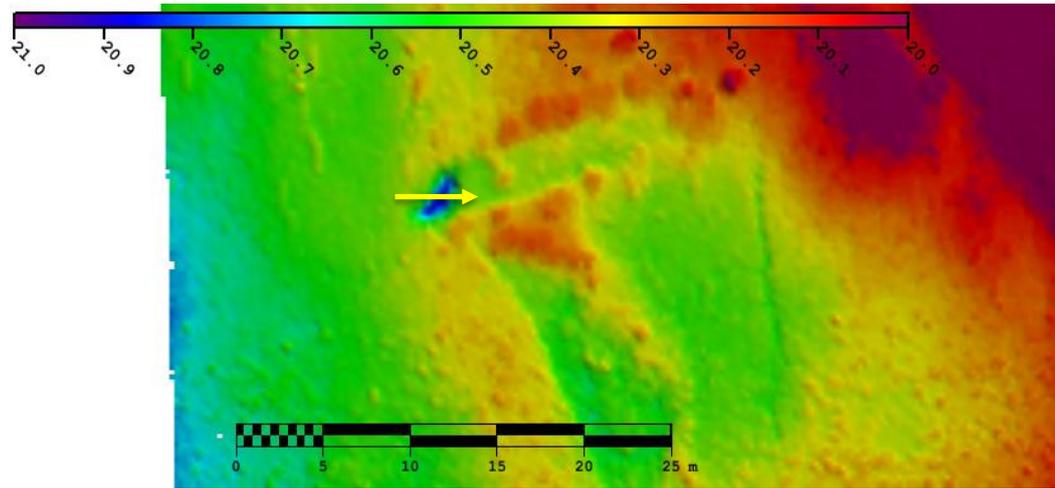
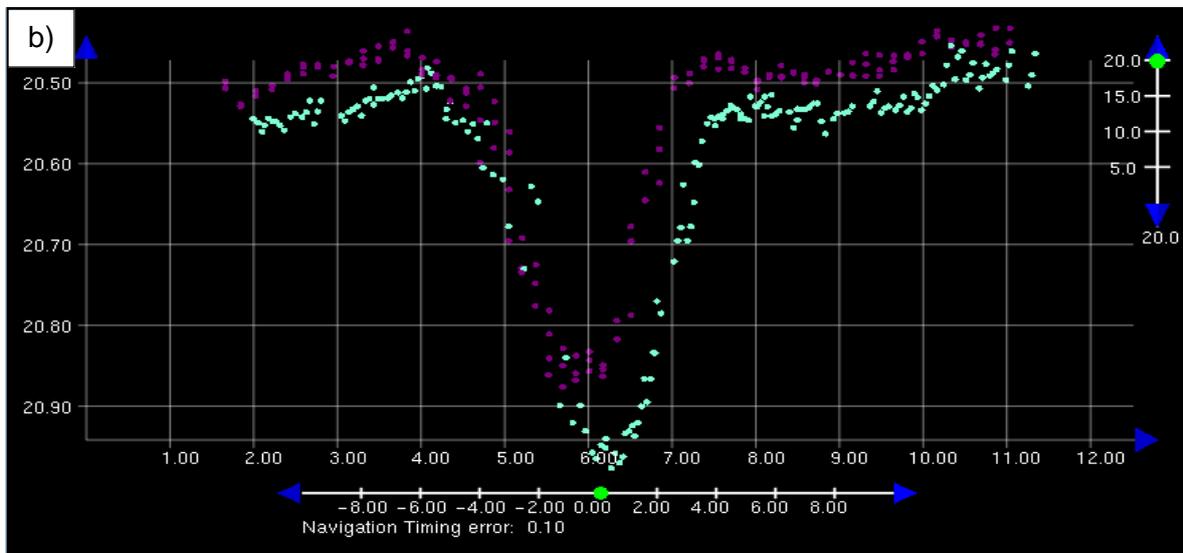
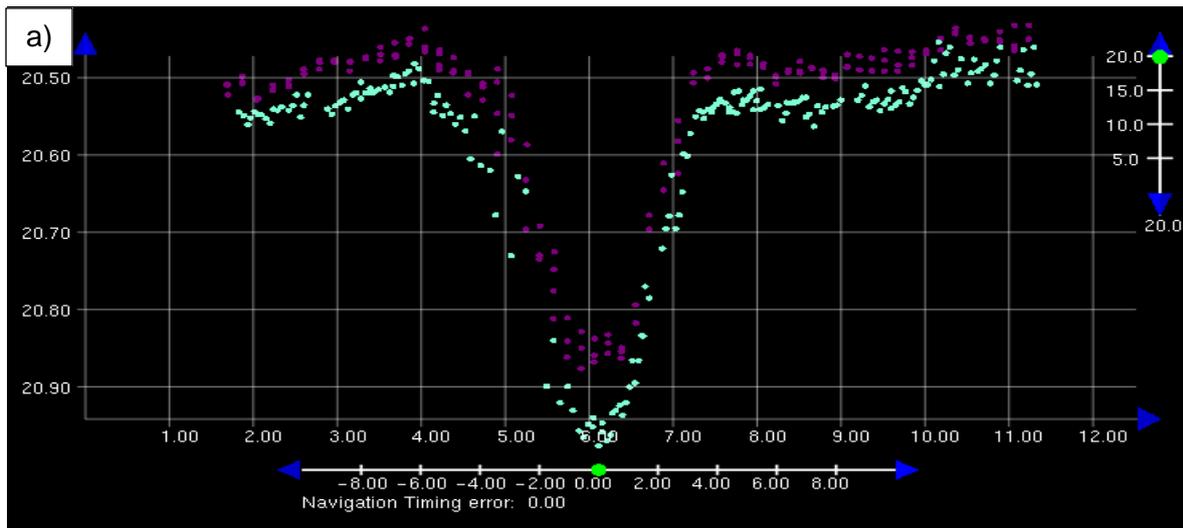


Figura 49 - Visualização do local onde foi realizado o slice do subset na figura 50 e o perfil da figura 51.



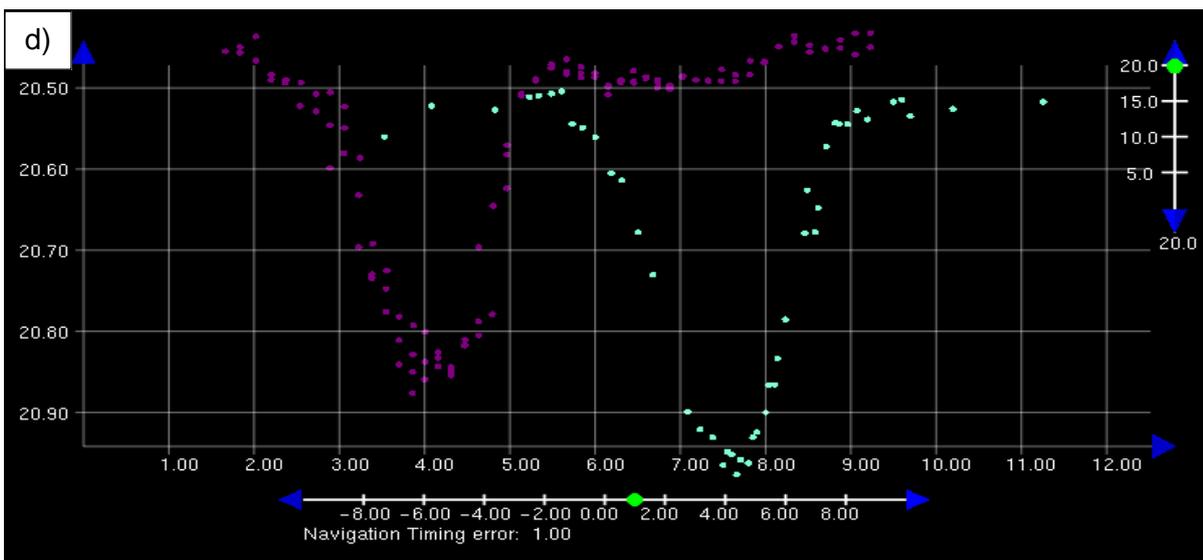
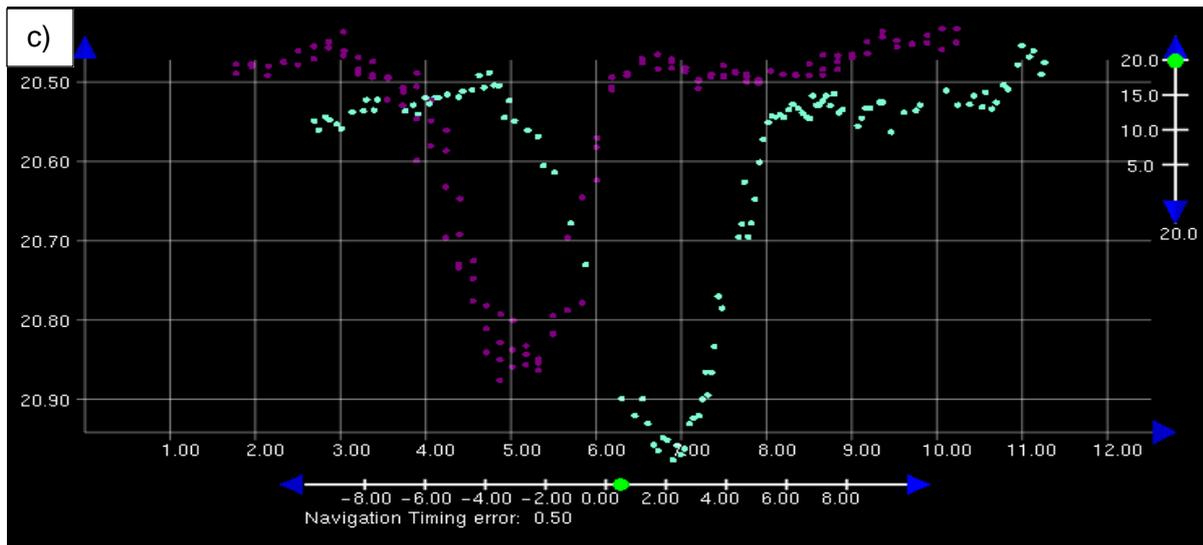


Figura 50 - Visualização do desfasamento das linhas 5 (roxo) e 0 (azul). O retângulo vermelho evidencia evidência escolhida pelo atributo shoal na confecção da estrutura a) Latência calibrada. b) Nível 1 = 0.1 s. c) Nível 2 = 0.5 s. d) Nível 3 = 1.0 s.

Com base nas superfícies geradas foi realizado um perfil gráfico sobre a estrutura em depressão (Figura 51) e assim como ocorreu na Região 1 a estrutura também se deslocou horizontalmente, na direção da linha de aquisição. Esse deslocamento moveu a estrutura uma distância equivalente a 0.2~0.3m para 0.1s, 0.8~1 m para 0.5 s e a mascarou totalmente para 1.0 s de latência. Por conta da dupla detecção a profundidade foi reduzida em torno de 0,25 m no desfasamento das linhas (Figura 51).

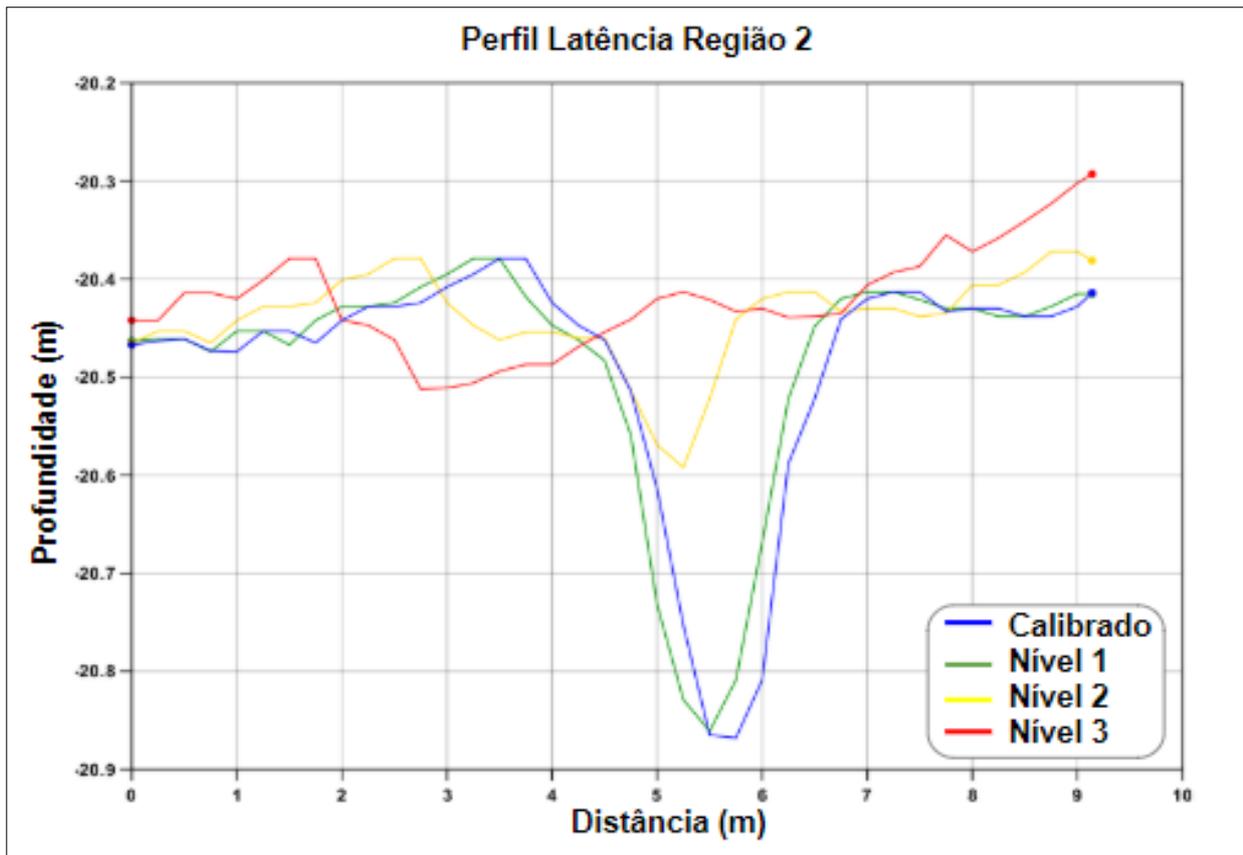
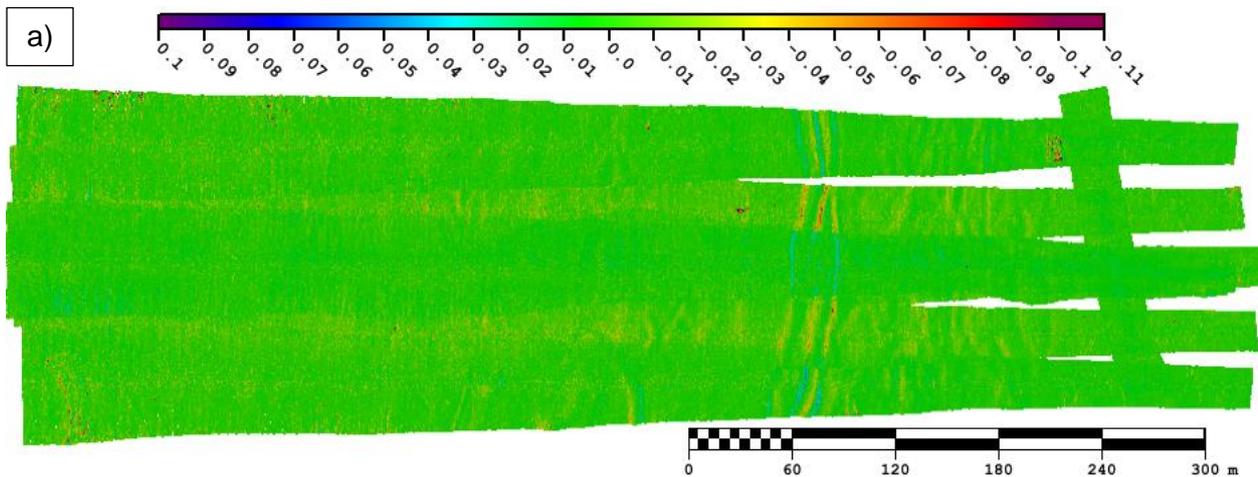


Figura 50 - Representação Gráfica do perfil realizado na Figura 48.

A partir das superfícies geradas, foi calculado as superfícies diferença entre elas e a superfície calibrada (Figura 52).



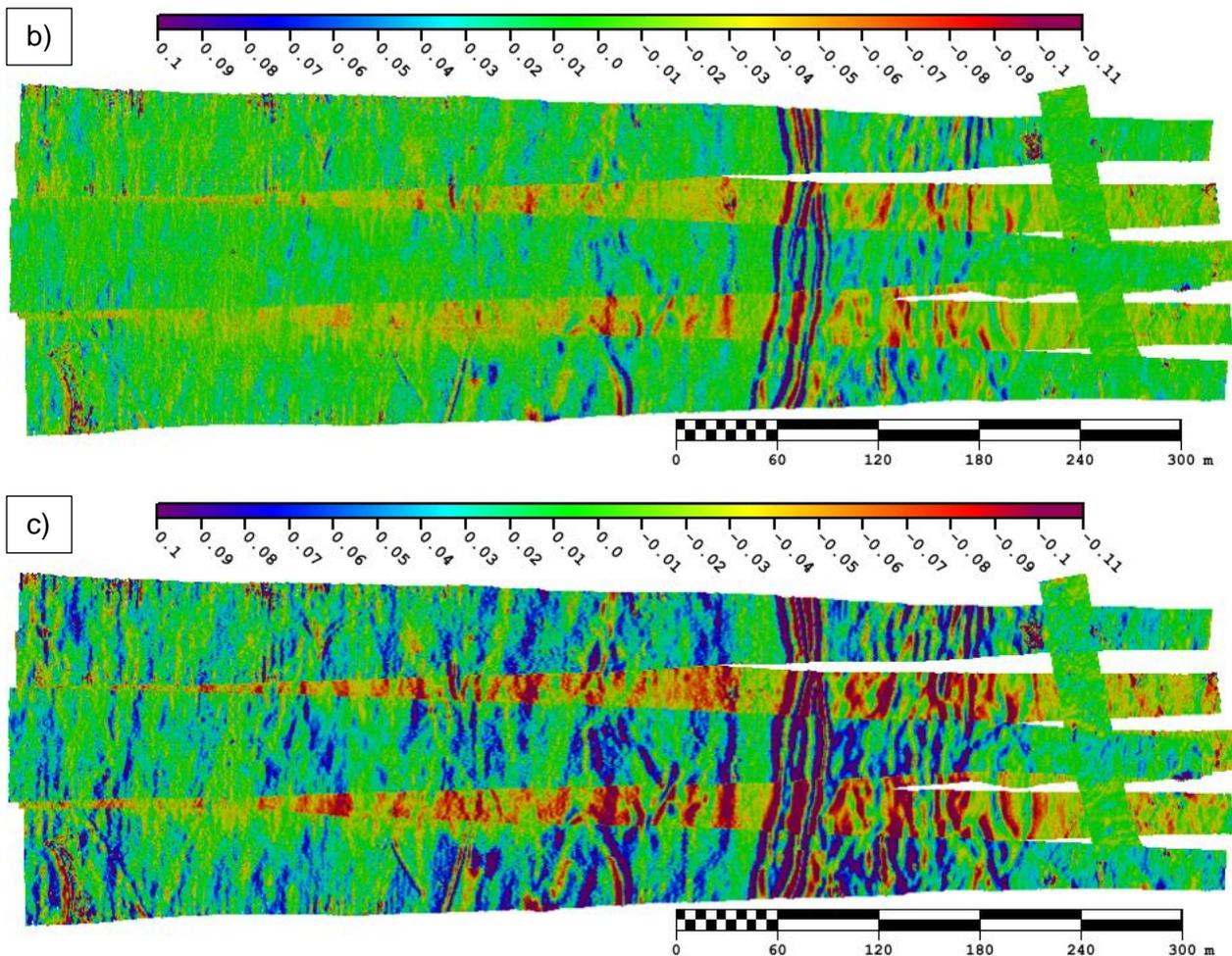


Figura 51 - Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada. a) Nível 1 = 0.1 s, b) Nível 2 = 0.5 s, c) Nível 3 = 1.0 s

As superfícies diferença apresentaram uma concentração dos resíduos de maior magnitude sobre as estruturas ao longo das linhas de aquisição. Isto ocorreu devido a positividade dos valores de Latência inserido, que atrasam o posicionamento da sondagem realizada pelo transdutor em relação ao posicionamento da navegação, movendo estruturas detectadas anteriormente para posições à frente da sua localização real. Como consequência desse não sincronismo, as linhas que seguiam na direção Oeste-Leste trouxeram estruturas mais profundas para regiões mais rasas, enquanto as linhas de sentido oposto trouxeram estruturas mais rasas para regiões mais profundas.

O gráfico de densidade do resíduo de profundidade mostra a evolução destas diferenças a cada nível de latência (Figura 52). As caudas das curvas representam a influência da alteração da profundidade pela deformação das estruturas enquanto o deslocamento da mediana da curva resultou de uma maior ocorrência de linhas correndo em direção a uma área mais rasa, gerando diferenças mais positivas que negativas.

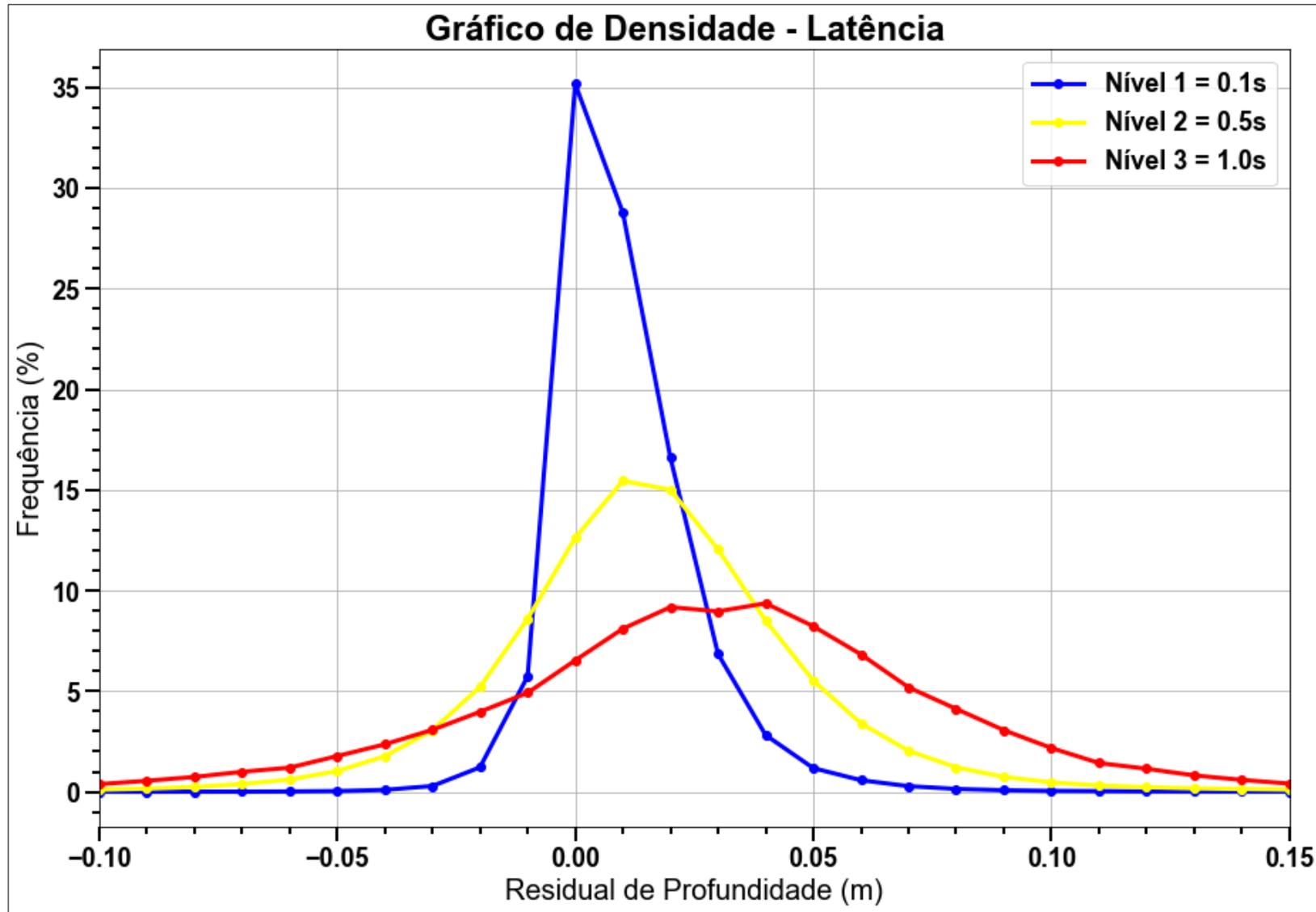


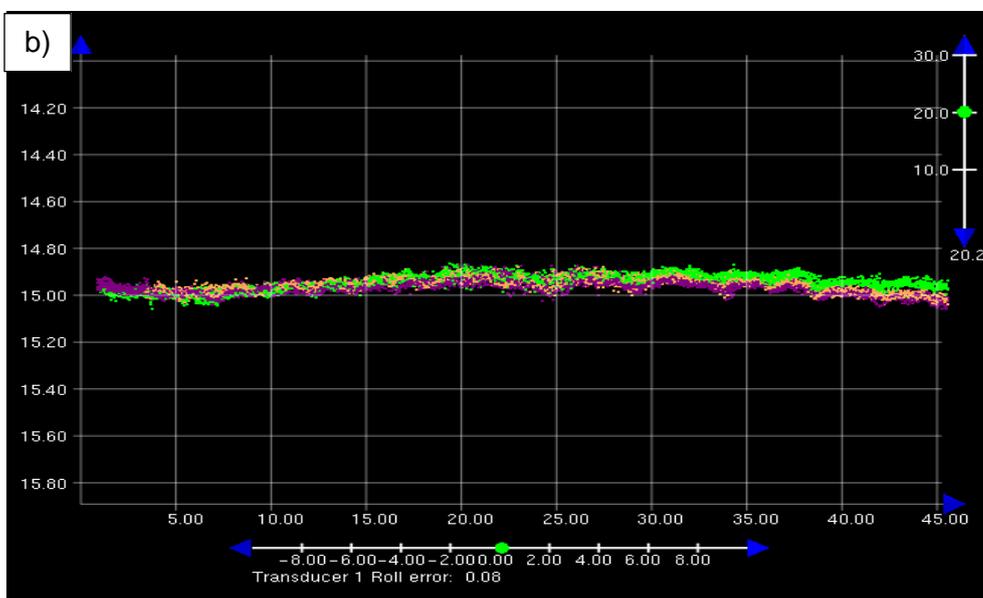
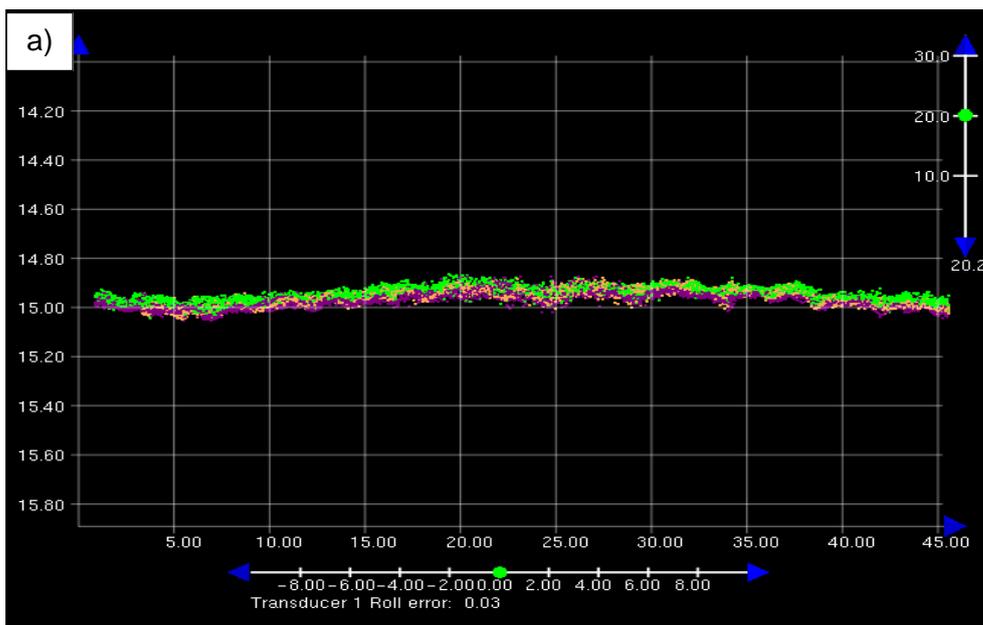
Figura 52 - Gráfico de Densidade das diferenças de profundidade entre a superfície Calibrada e as superfícies com atraso induzido.

5.5.2 ANÁLISE DE ROLL

Para se analisar os efeitos dos desvios angulares em *roll* foi realizado um *slice* no local de análise do *patch test* de *roll* e induzido três valores de atraso conforme Figura 54 e Tabela 6.

Tabela 6 - Tabela dos níveis de *roll* inseridos

Nível	Valor Inserido (Graus)	Valor Absoluto (Graus)
1	+ 0.05	0.08
2	+ 0.1	0.13
3	+ 0.5	0.53



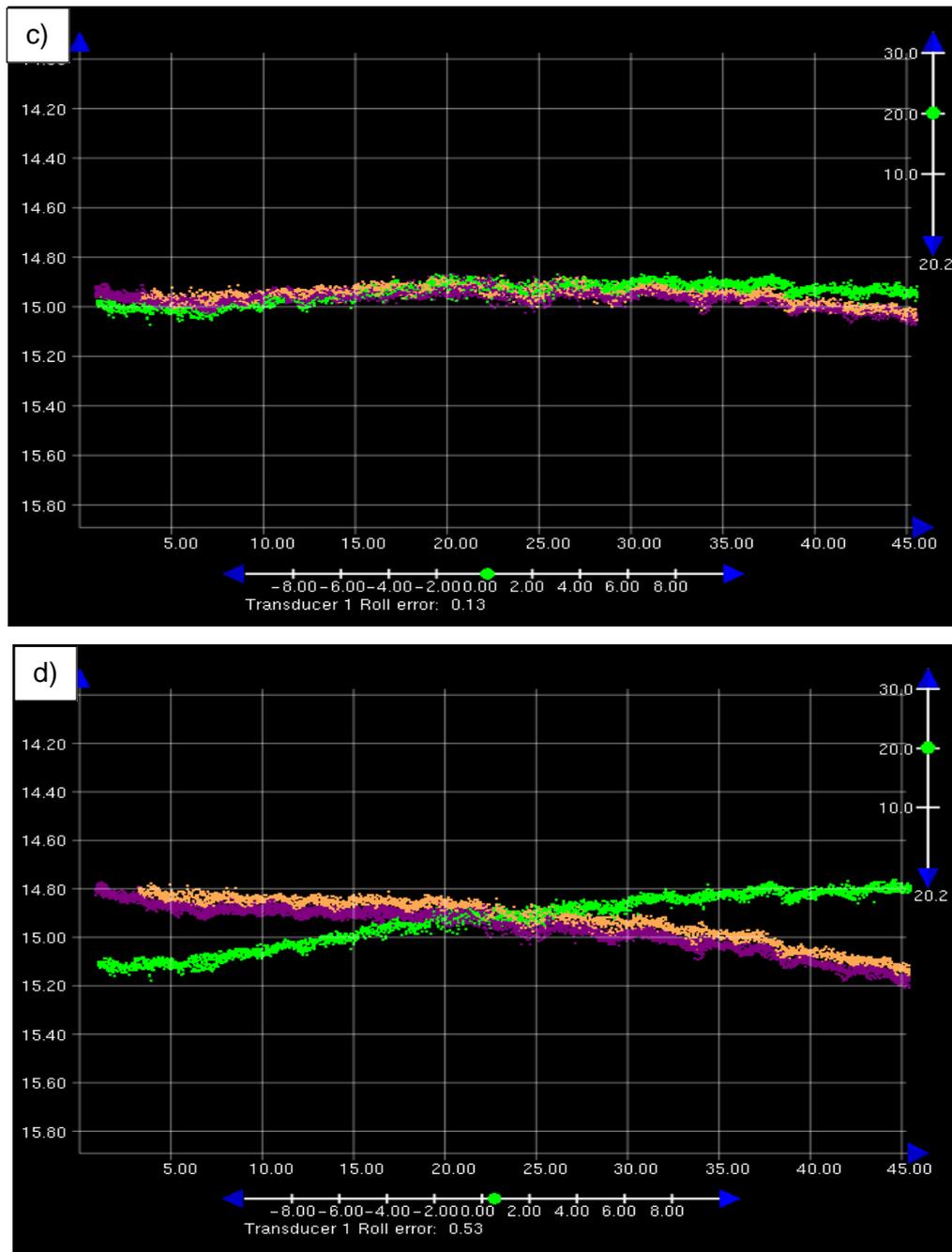


Figura 53 - Visualização do descasamento das linhas 6 (roxo), 4 (laranja) e 1 (verde). a) Roll calibrada (0.03°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 0.08° . c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 0.13° . d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 0.53° .

O incremento do desvio angular de *roll* causou deslocamentos verticais que geraram degraus entre as linhas de aquisição e conseqüentemente alterações na profundidade local (Figura 55).

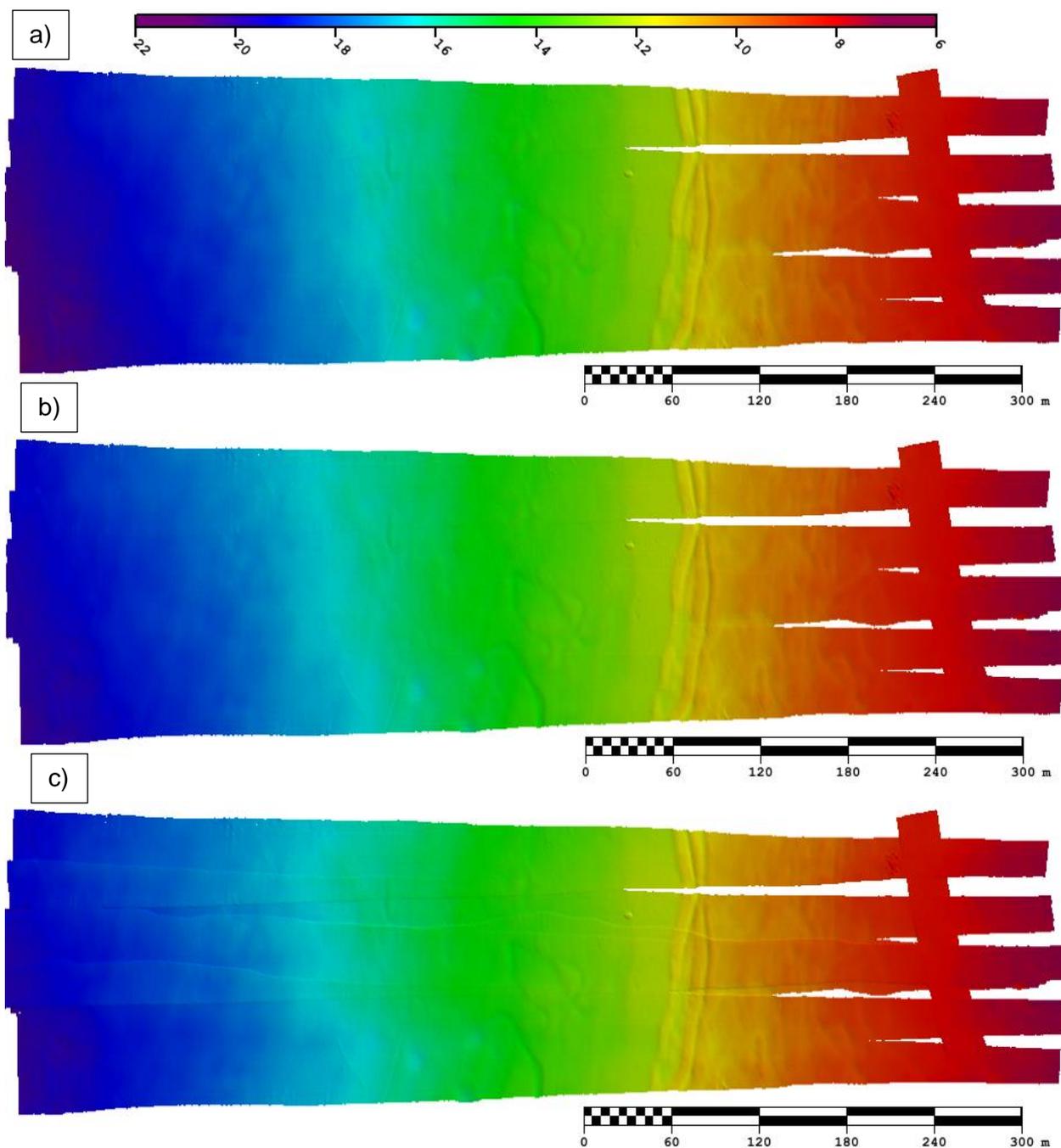


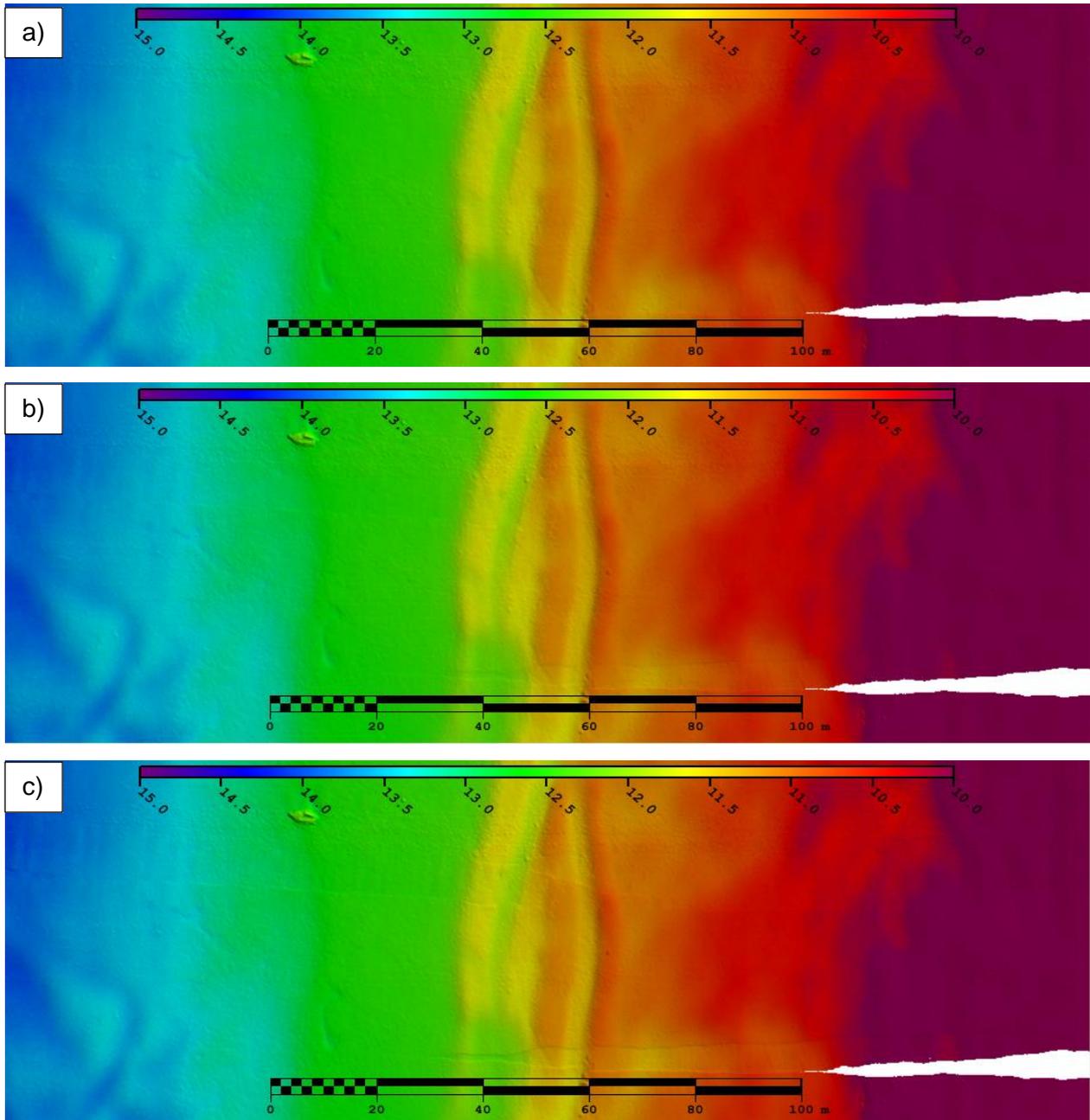
Figura 54 - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de roll. a) Nível 1 = 0.05°. b) Nível 2 = 0,1°. c) Nível 3 = 0.5°.

Para a visualização destes efeitos na superfície foi necessário um aumento leve da angulação de *roll*, sendo o incremento de 0.05° o suficiente para se obter uma diferença visual na superfície.

Com o incremento do desvio em *roll* os feixes centrais e externos foram afetados em escalas diferentes, decorrente da natureza do movimento. Enquanto nos feixes centrais as sondagens sofreram um deslocamento vertical mais suave, deformando

pouco a superfície, nos feixes externos esse deslocamento foi tamanho que já era possível identificá-lo na superfície com um incremento de 0.05° de desvio de *roll*.

Esses degraus estão orientados E-O e seguindo a mesmo rumo das linhas de sondagem e foram criados devido a inclinação em *roll* (Figura 56).



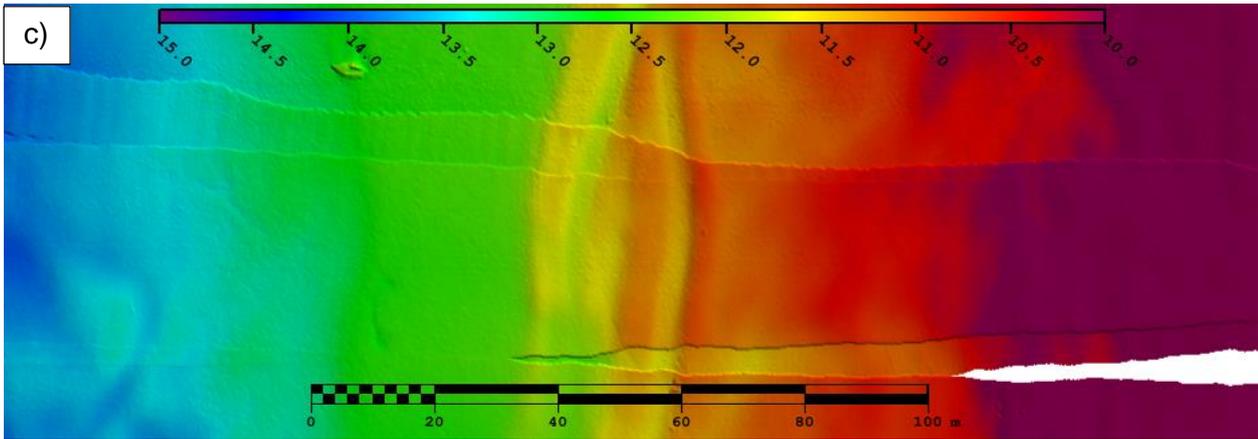
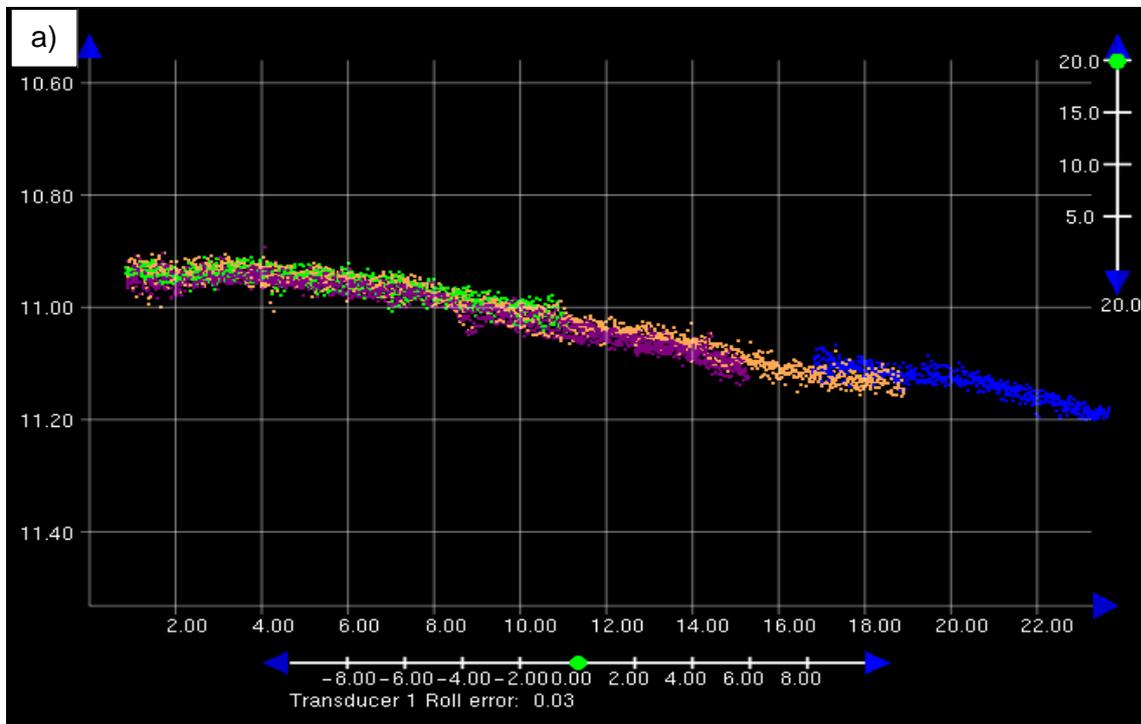
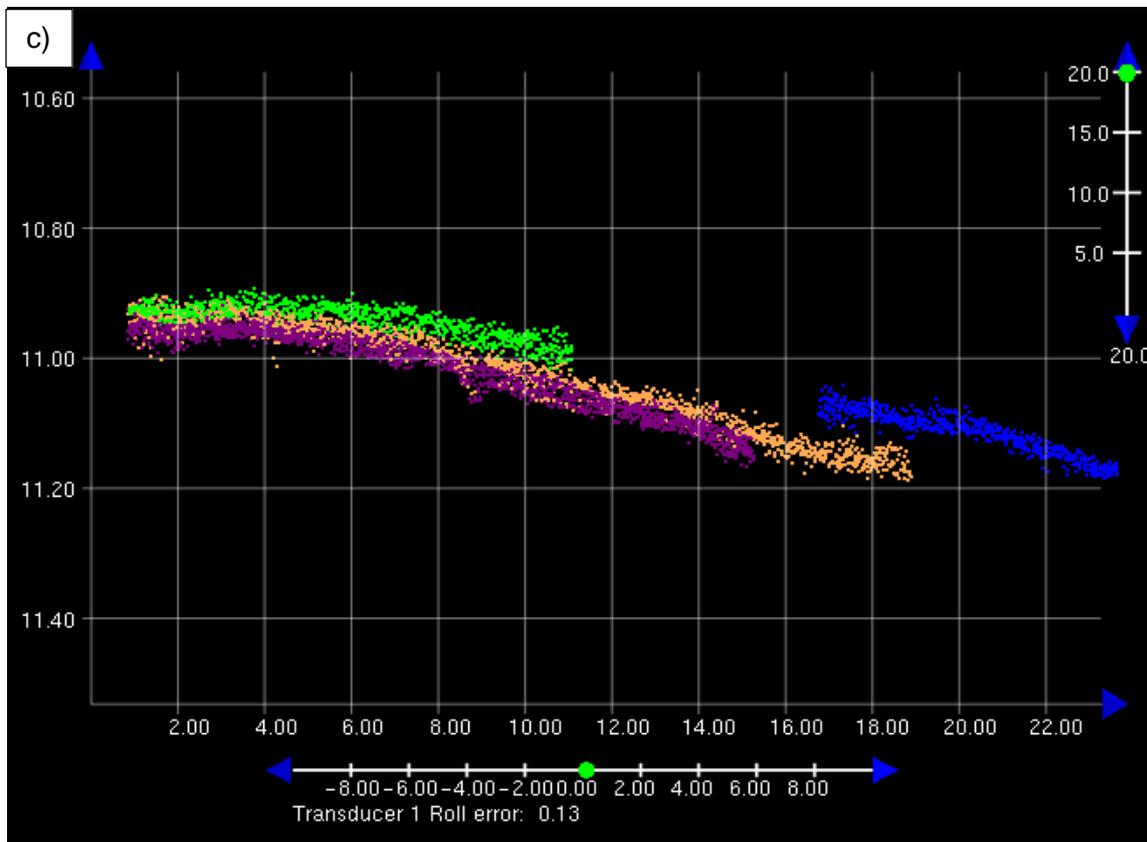
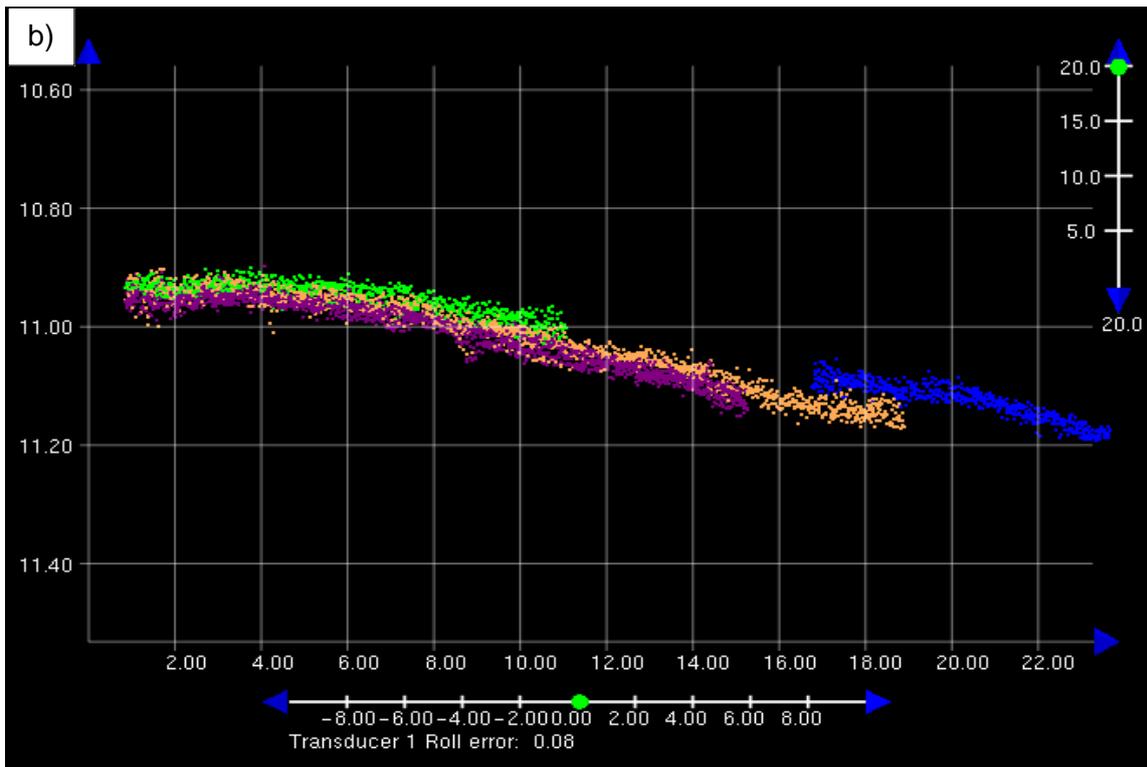


Figura 55 - Visualização Dos degraus gerados com o aumento do desvio em roll. a) Roll calibrada (0.03°). b) Nível 1= 0.08°. c) Nível 2 = 0.13°. d) Nível 3 = 0.53°

Os locais onde as linhas são paralelas e possuem mesmo sentido o deslocamento foi maior (Figura 57), enquanto nos locais onde possui linhas de sentidos contrários, foram criadas elevações em V (Figura 54). Visualmente não se identificou deslocamentos horizontais, como já era esperado.





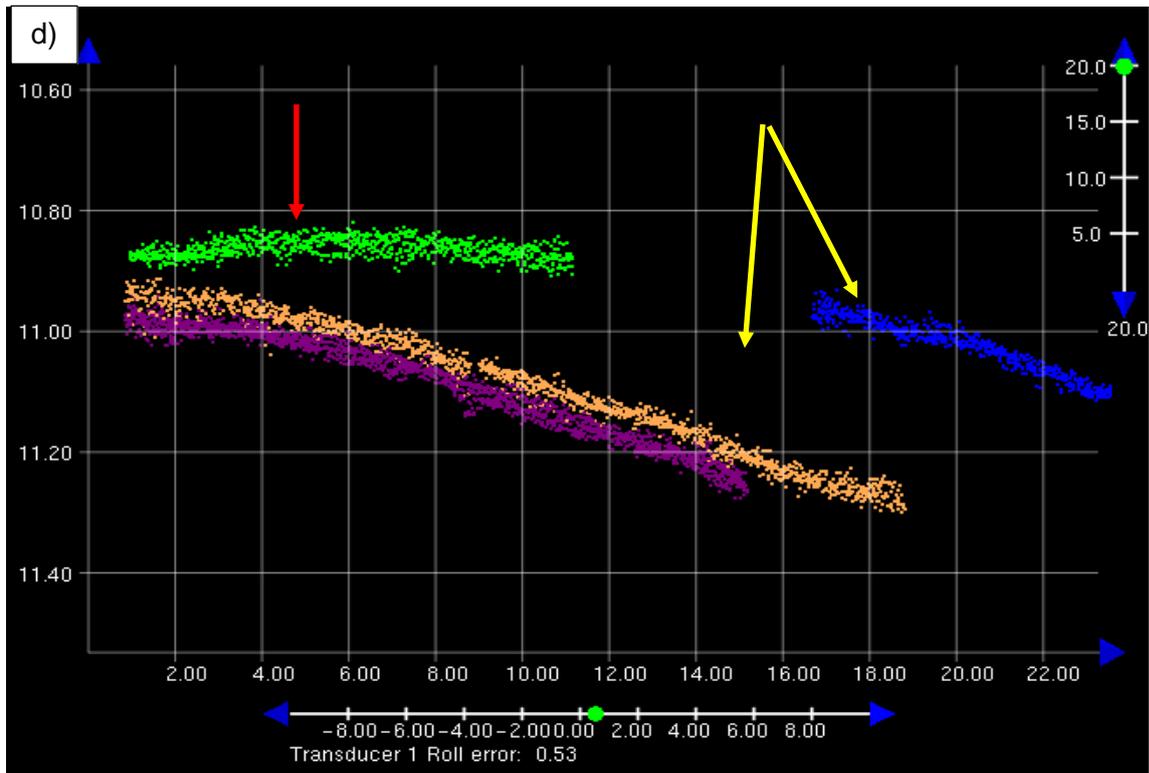


Figura 56 - Visualização da inclinação dos swaths das linhas 6 (roxo), 4 (laranja), 1 (verde) e 0 (azul) causada pelo incremento em roll. As setas amarelas apontam para linhas realizadas no mesmo sentido, enquanto a vermelha aponta para a de sentido contrário. a) Roll calibrada (0.03°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 0.08° . c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 0.13° . d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 0.53° .

Os perfis ilustrados na Figura 58 representam as alterações ocorridas em ambos os locais de análise na primeira região.

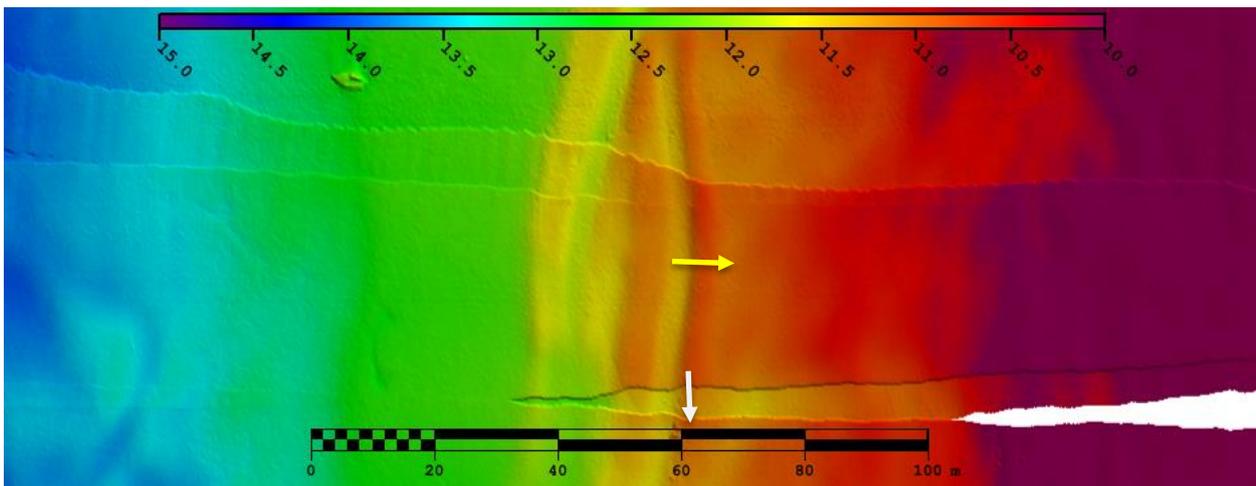


Figura 57 - Local, direção e sentido dos perfis realizados para análise do comportamento da superfície com o aumento do desvio em roll. A seta amarela representa o Perfil da figura 59 e a seta branca o perfil da figura 60.

O primeiro perfil (Figura 59) realizado sobre os feixes centrais do swath das linhas 6 4 e 1, ortogonal ao canal e paralelo as linhas, e o segundo perfil foi traçado sobre os feixes externos do swath das linhas 6,4,1 e 0 e ortogonal as linhas e aos degraus.

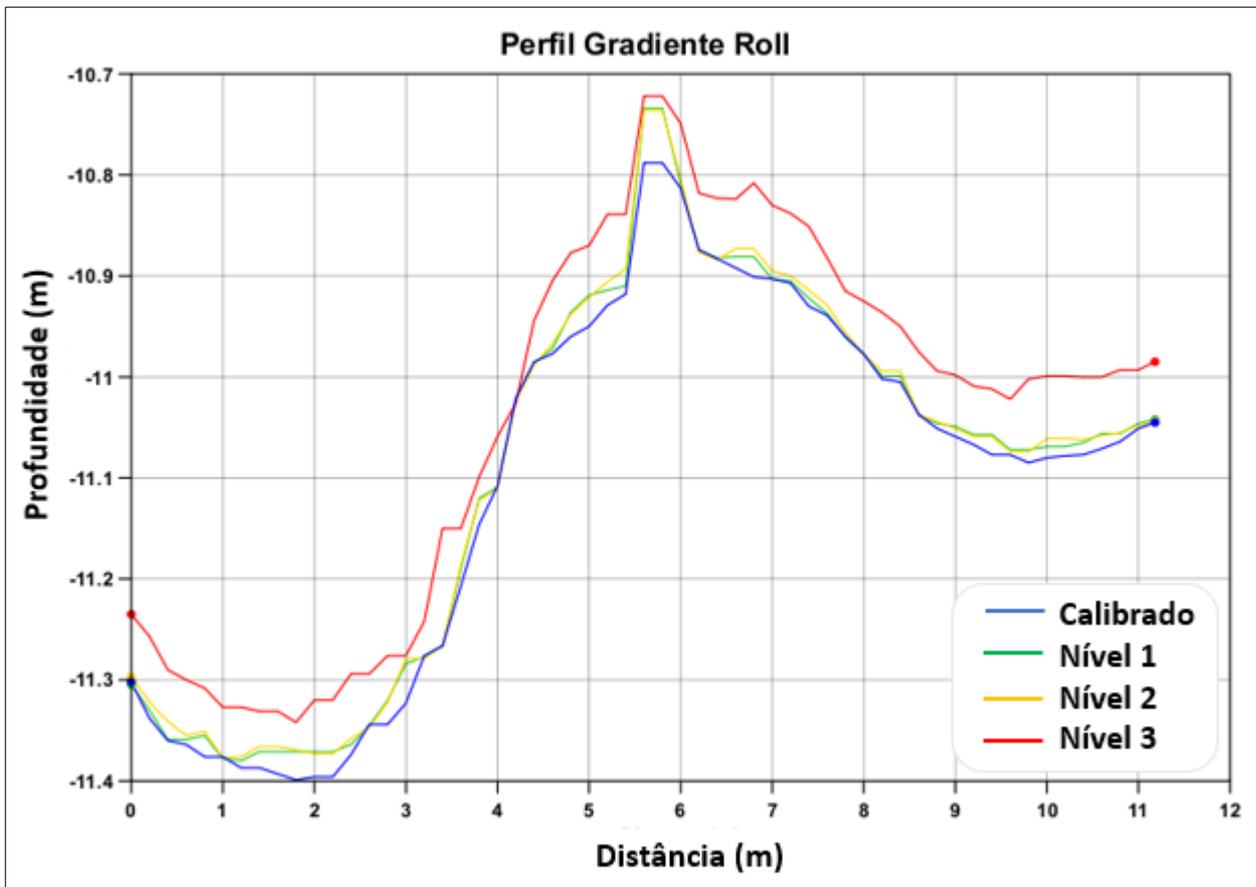


Figura 58 - Perfil realizado sobre os feixes centrais da linha de sondagem, ortogonal ao canal e paralelo as linhas em cada superfície.

Neste perfil a diferença de profundidade do artefato entre a superfície calibrada e o nível 1, 2 e 3 respectivamente foram de 0.05m, 0.05m e 0.6m. Embora a diferença entre os níveis tenha sido pequena, quando olhamos para a intensidade dos níveis (0.05° , 0.1° e 0.5°) é possível perceber que eles são representativos.

Já no segundo perfil (Figura 60) as diferenças são mais agudas, como a região aborda uma superposição parcial dos feixes externos das linhas e as linhas de rumos contrários sofrem uma rotação no eixo de *roll* também contrária, a separação dos feixes externos se intensifica (Figura 57).

Ambos os perfis mostram que não houve deslocamentos horizontais, apenas verticais e reforçam a sensibilidade dos feixes externos aos desvios em *roll*. Neste caso foi criado um canal que evoluiu a uma taxa média de 0.033m (0.166 para cima e para baixo) por 0.05° de *roll* (Figura 61).

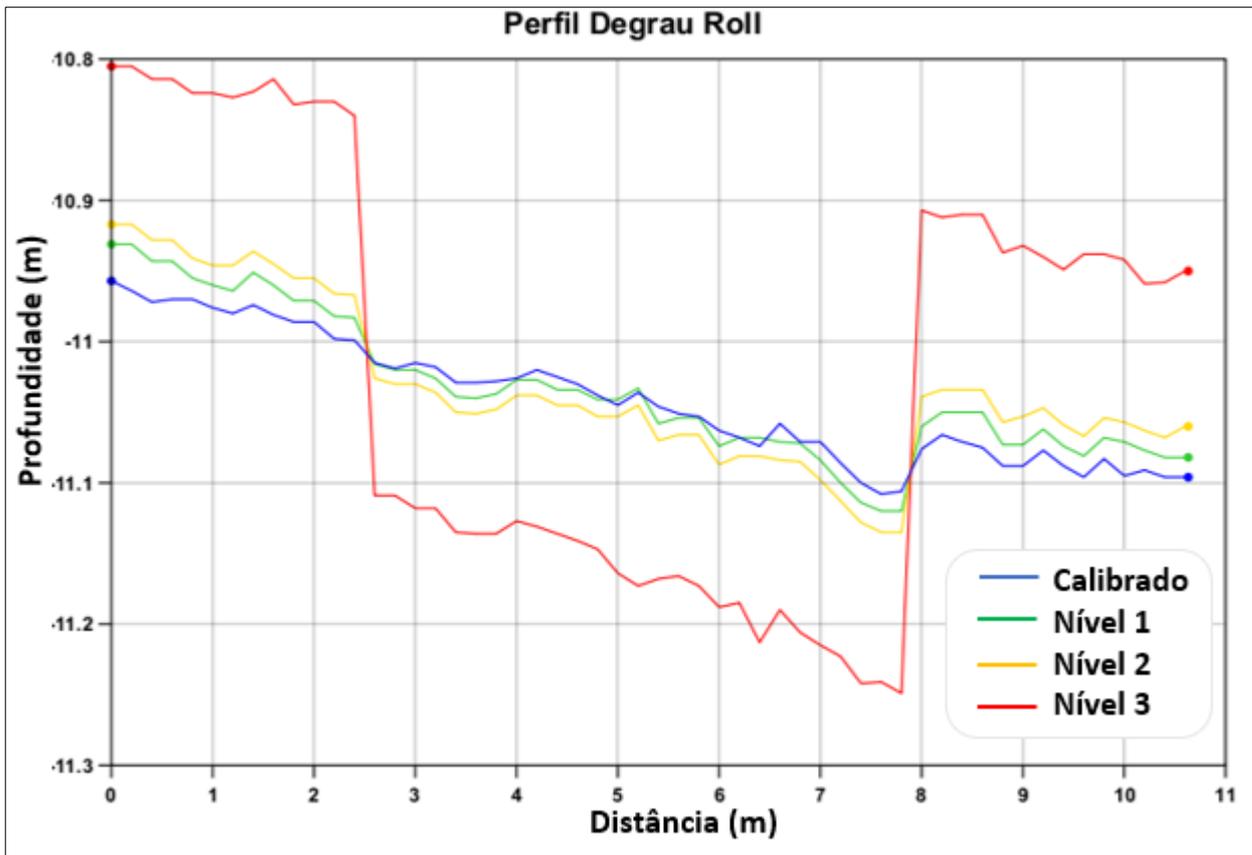


Figura 59 - Perfil realizado sobre os feixes externos da linha de sondagem, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície.

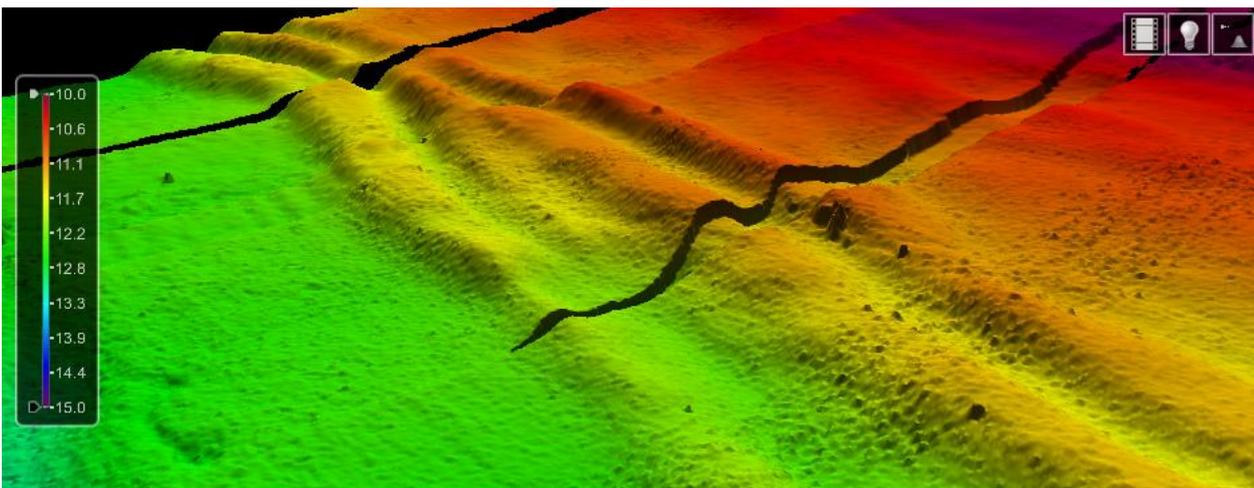


Figura 60 - Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 0.53° de roll e exagero de 5 vezes.

A criação de degraus e deformação das estruturas também estão ligadas ao nível de superposição de cada linha sobre ela.

Na Região 2 (Figura 62 e 63), o artefato está localizado nos feixes externos de duas linhas recíprocas e paralelas.

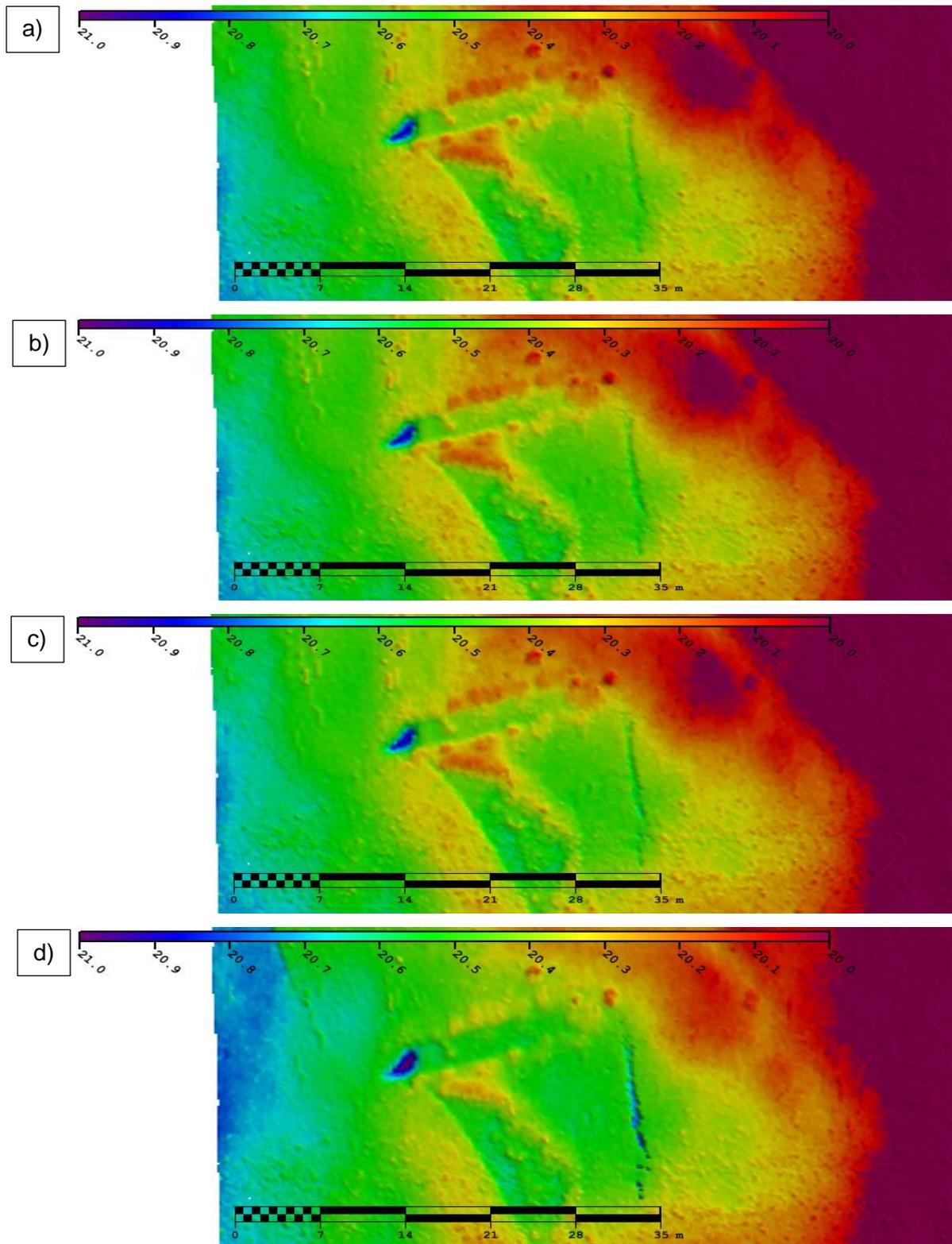


Figura 61 - Visualização dos efeitos gerados com o aumento do desvio em roll em uma estrutura localizada sobre os feixes externos de duas linhas recíprocas e paralelas com total cobertura do artefato. a) Roll calibrada (0.03°). b) Nível 1 = 0.08° . c) Nível 2 = 0.13° . d) Nível 3 = 0.53°

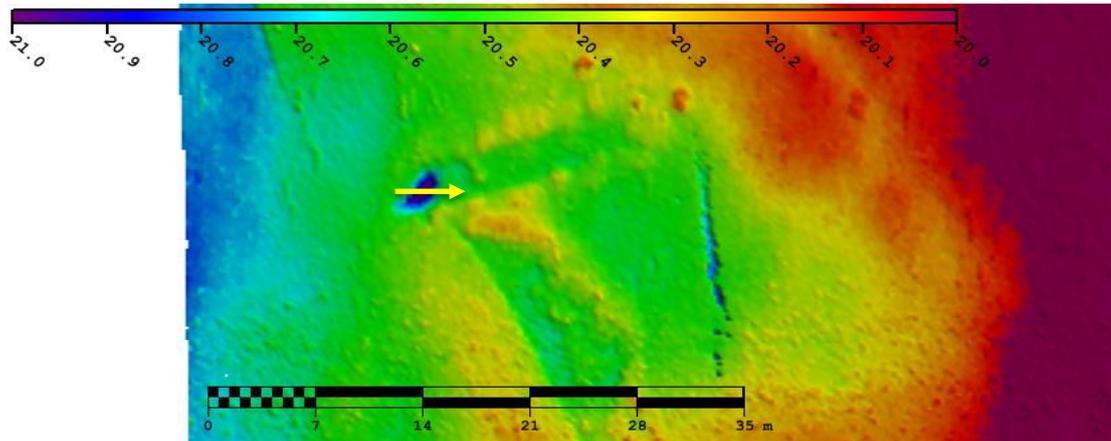
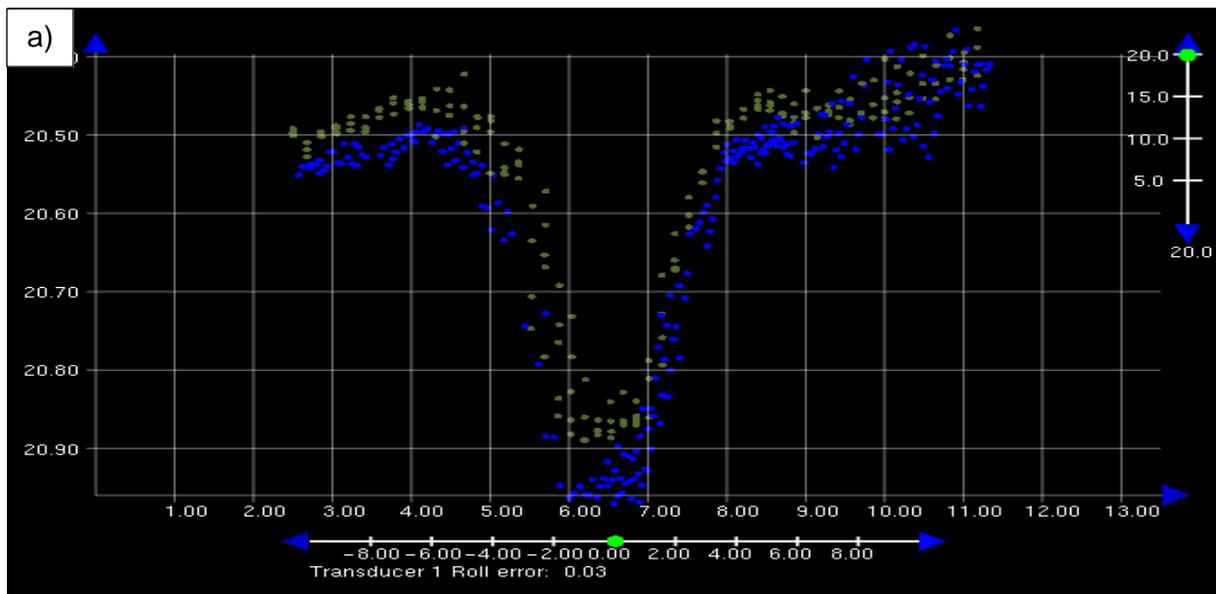


Figura 63 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em roll. A seta amarela representa a área do subset da Figura 64 assim como o Perfil da figura 65.

Como um incremento positivo de *roll* causa uma inclinação horária ao redor do eixo longitudinal da embarcação era esperado um degrau com ausência de dados entre as linhas. Contudo, neste caso a região ao redor do artefato possui uma superposição de 200% (Por conta do aumento da profundidade), por conta disto não houve gaps entre as linhas, portanto houve apenas um aumento da profundidade local, não criando assim degraus como anteriormente (Figura 64).



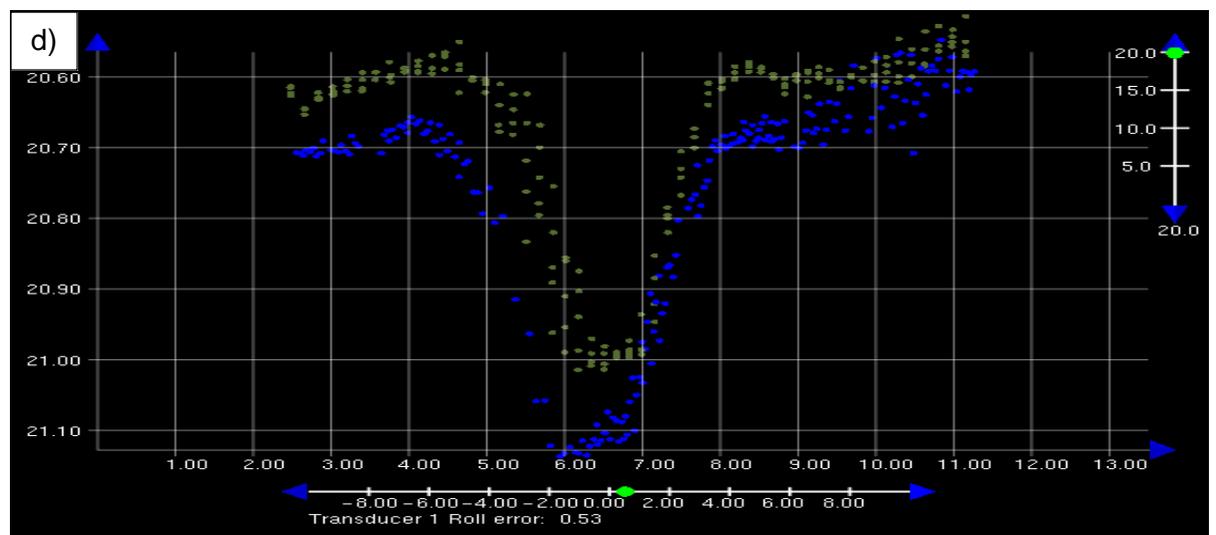
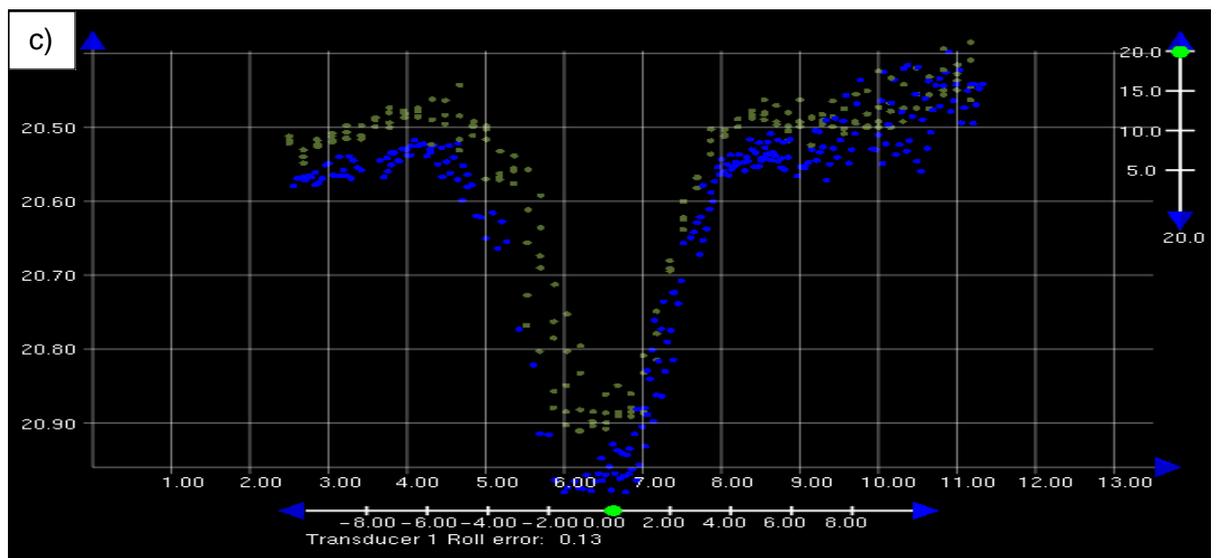
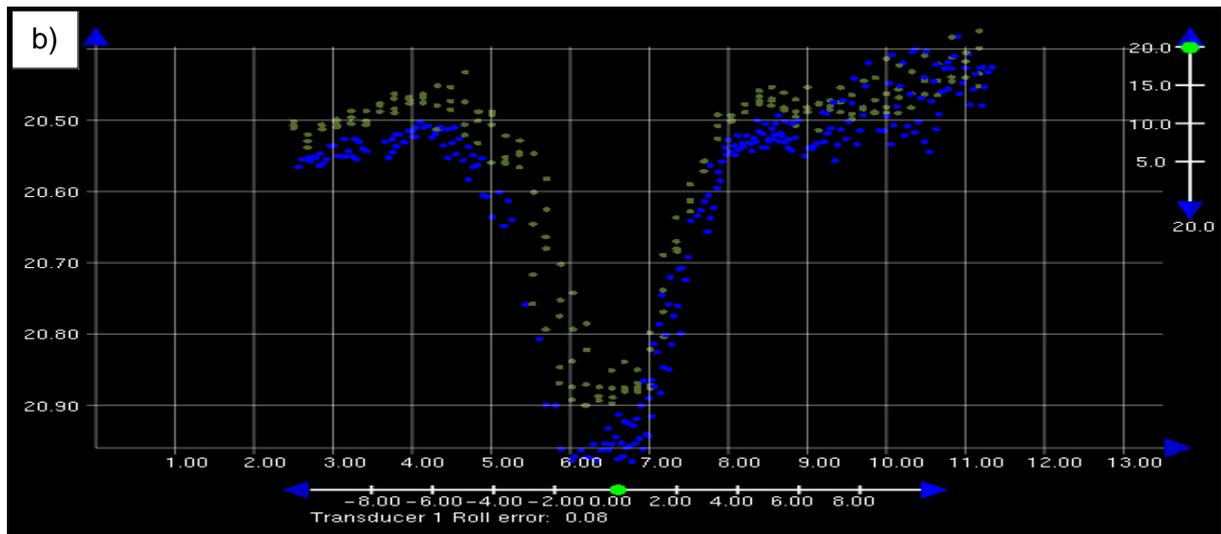


Figura 62 - Visualização da superposição de 200% do artefato e a evolução do descasamento das linhas 0 (azul) e 5 (verde) (recíprocas e paralelas) com o aumento do desvio em roll. a) Roll calibrada (0.03°). b) Nível 1 = 0.08° . c) Nível 2 = 0.13° . d) Nível 3 = 0.53° .

Esse deslocamento vertical alcançou cerca de 0.02 m de profundidade no descasamento das linhas que ocorre com 0.13° de *roll* como pode ser evidenciado no perfil apresentado na Figura 65.

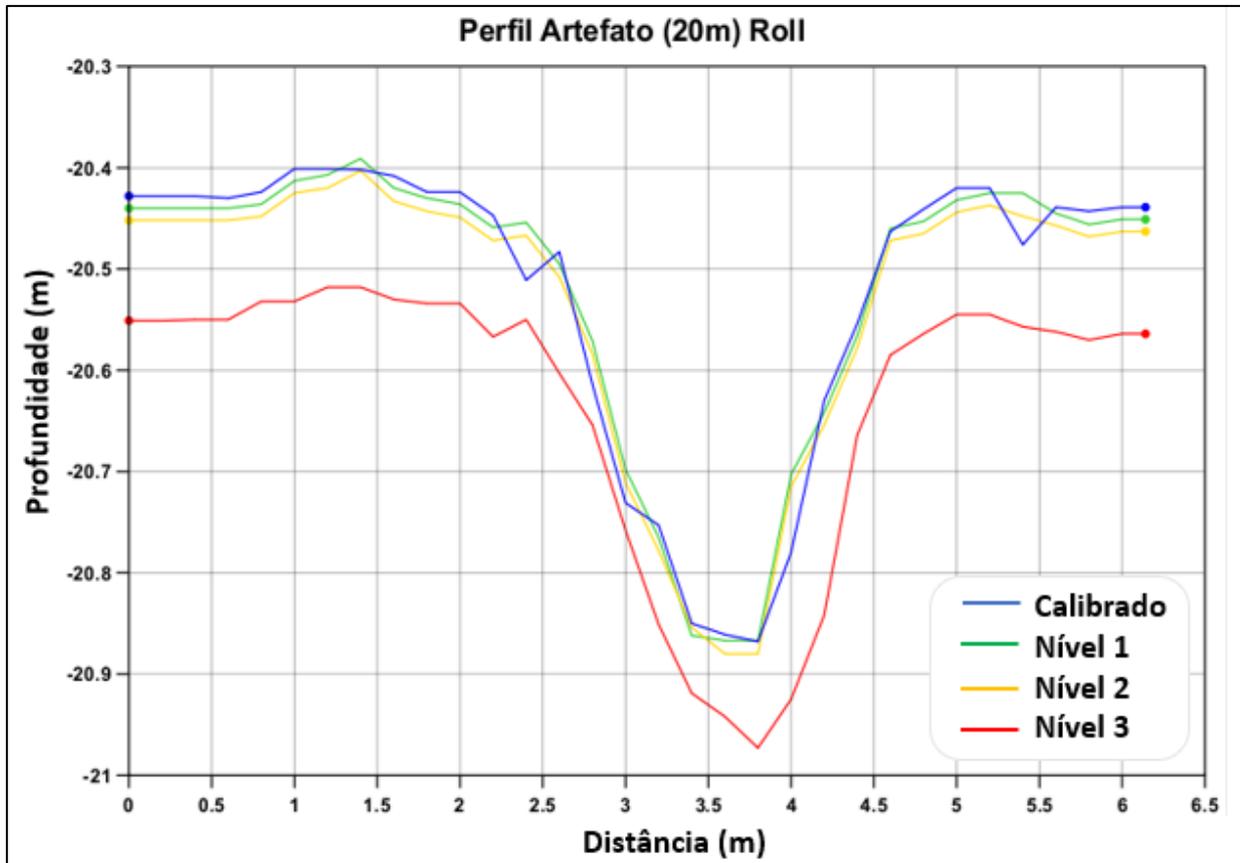


Figura 63 - Perfil realizado sobre o artefato localizado nos feixes externos das linhas 0 e 5, evidenciando o deslocamento vertical descendente da estrutura com o aumento do desvio de *roll*.

As Superfícies diferença de *roll* mostram que as diferenças causadas pelo aumento do nível de erro de *roll* foram ligadas a natureza do movimento e não a estrutura da superfície (Figura 66).

Isso pode ser evidenciado pela ausência da visualização das alterações das estruturas na superfície, como ocorre por exemplo nas superfícies diferença de Latência.

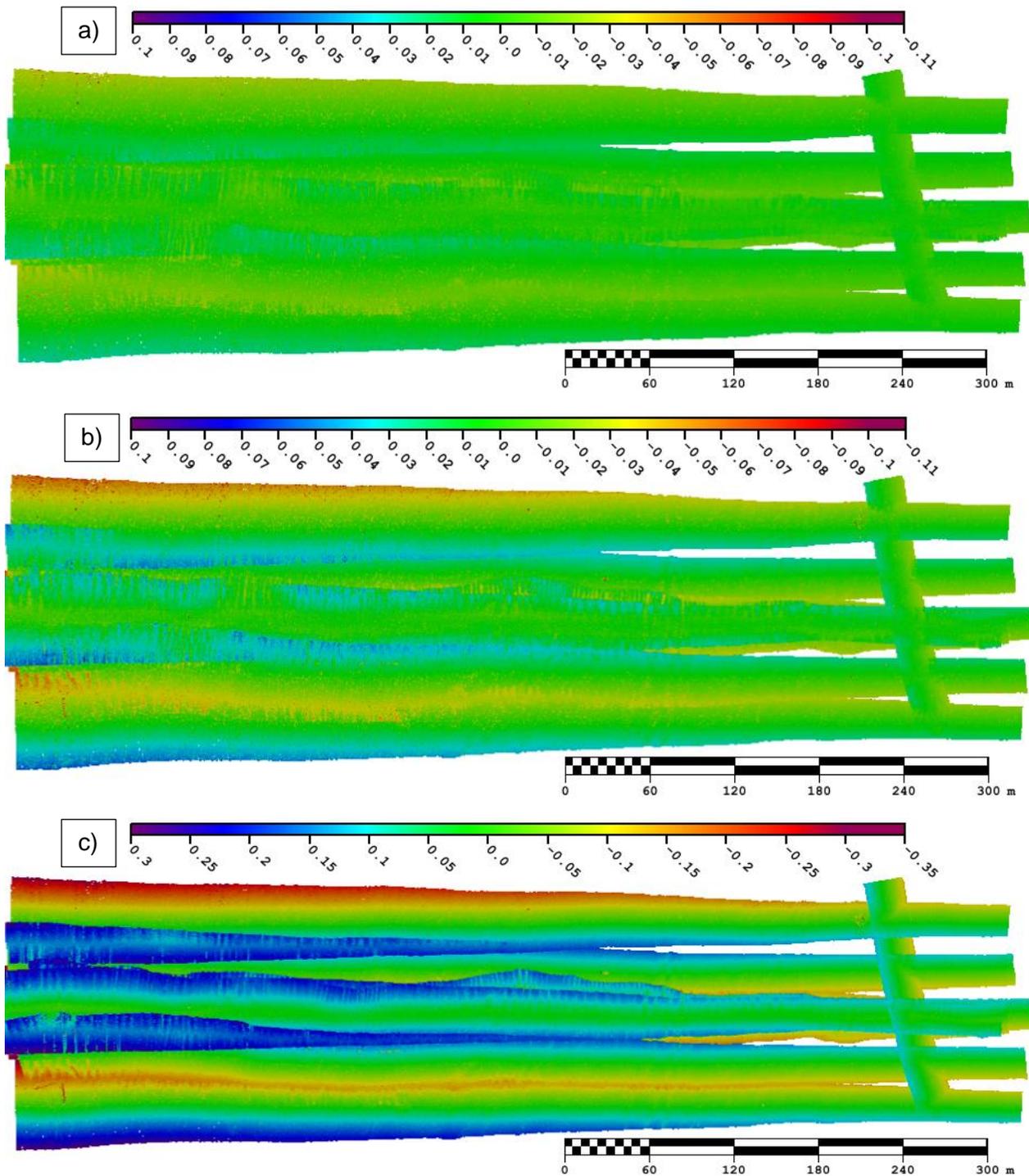


Figura 64- Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada em roll. a) Nível 1 = 0.05° , b) Nível 2 = 0.1° , c) Nível 3 = 0.5°

Esse resíduo de profundidade ligado a natureza do movimento é representado no gráfico de densidade do resíduo de profundidade causado pelo incremento do desvio em roll (Figura 67). As Curvas tendem a alargar suas caudas proporcionalmente ao aumento da inclinação. O deslocamento do pico das curvas ocorre pela mesma influência azimutal que desloca as curvas de Latência, porem em menor intensidade.

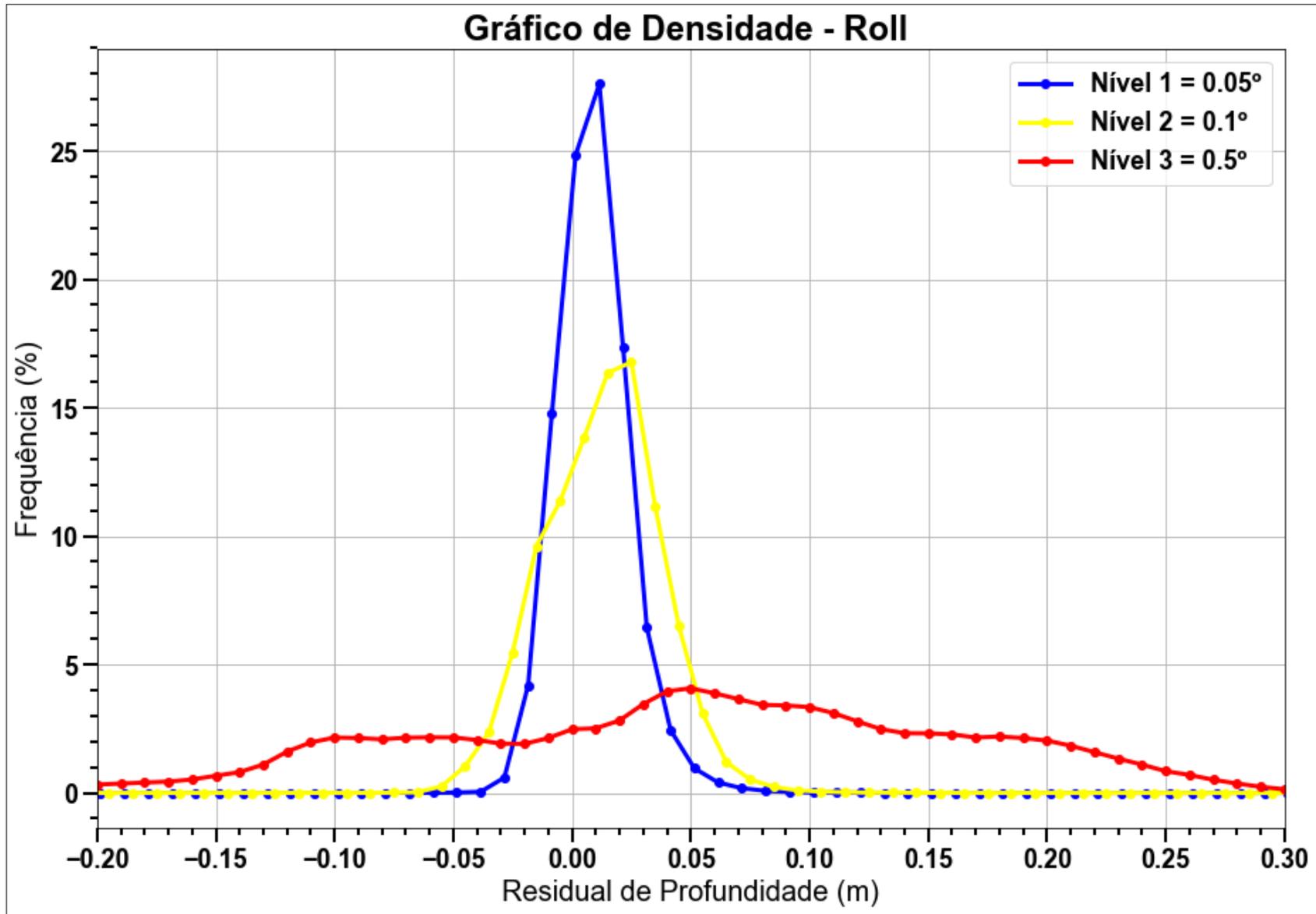


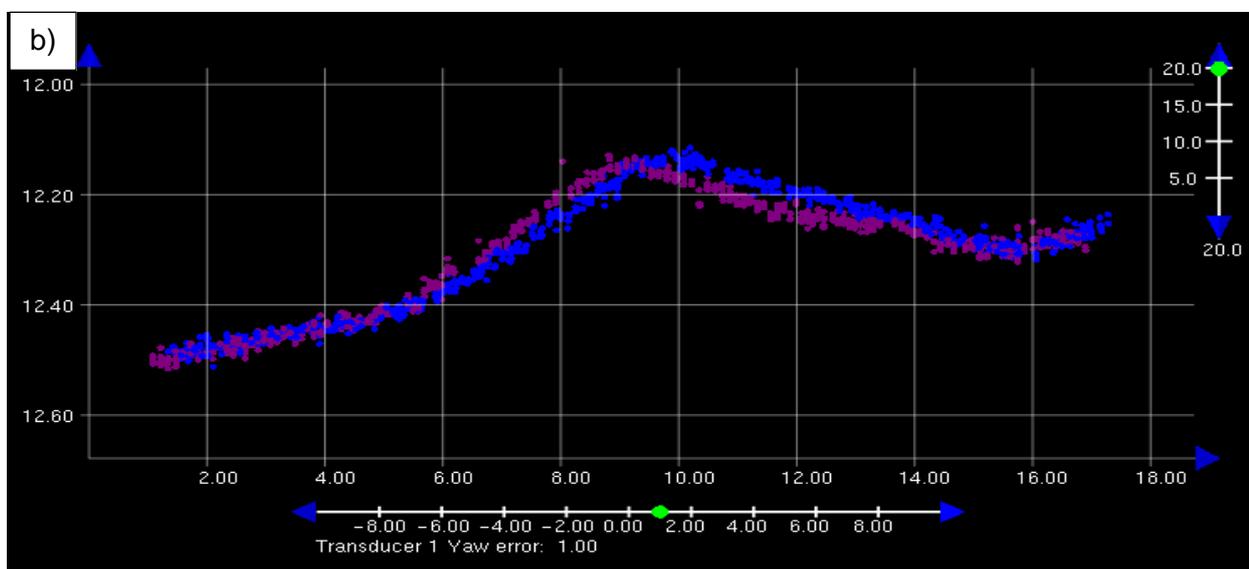
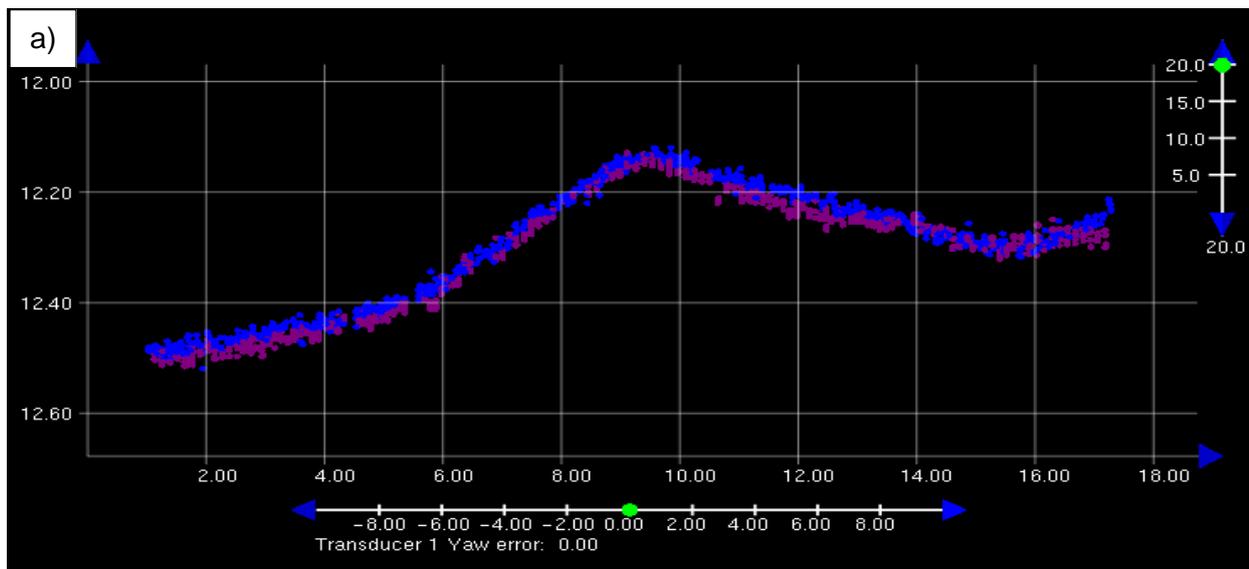
Figura 65 - Gráfico de Densidade do Resíduo de profundidade causado pelo incremento de roll a cada nível.

5.4.3 ANÁLISE DE YAW

Para se analisar os efeitos dos desvios angulares em yaw foi realizado um *slice* de *subset* no local de análise do *patch test* de yaw (Figura 68) e induzido três valores de desvio (Tabela 7) para a criação das superfícies que foram analisadas (Figura 69).

Tabela 7 - Tabela dos níveis de yaw inseridos

Nível	Valor Inserido (Graus)	Valor Absoluto (Graus)
1	1.0	1.0
2	3.0	3.0
3	6.0	6.0



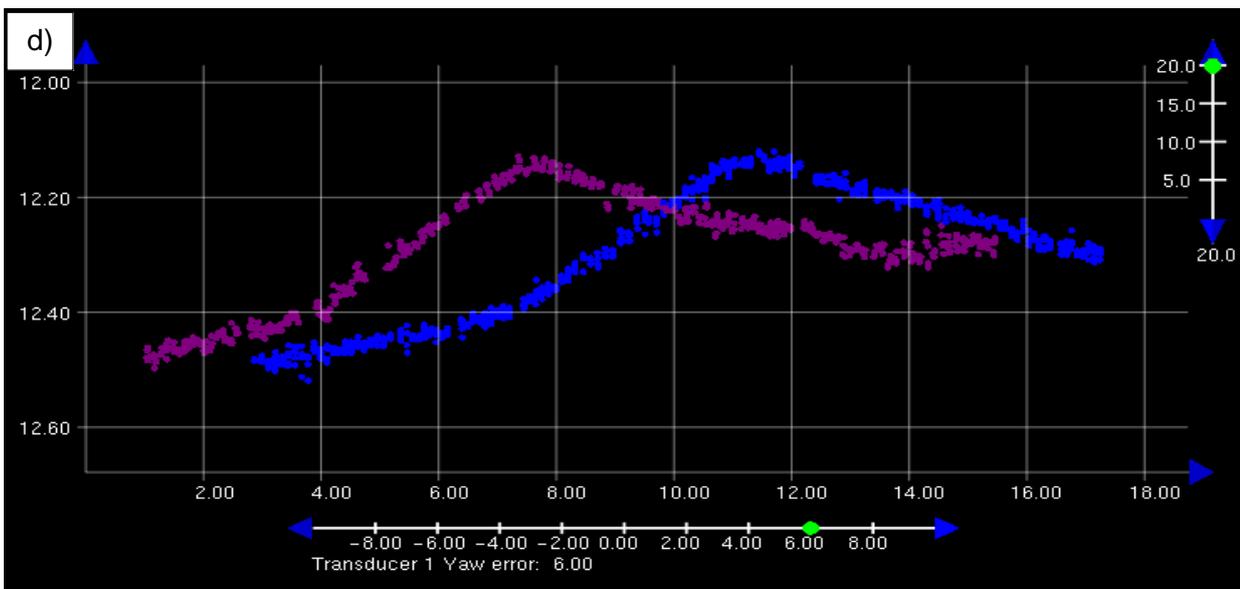
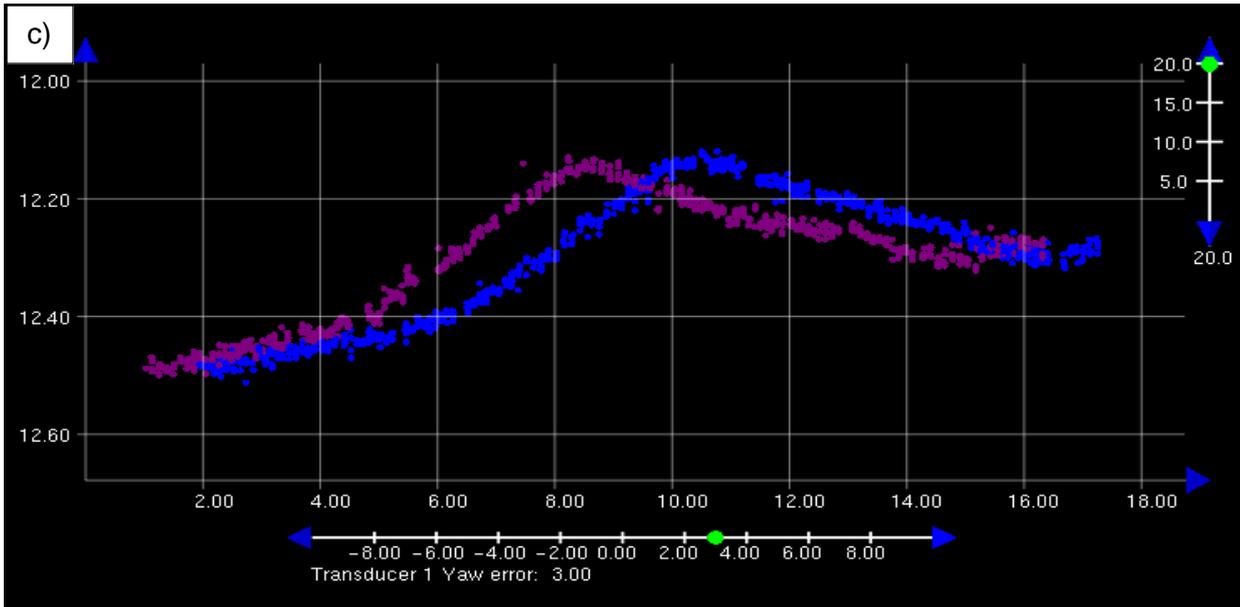
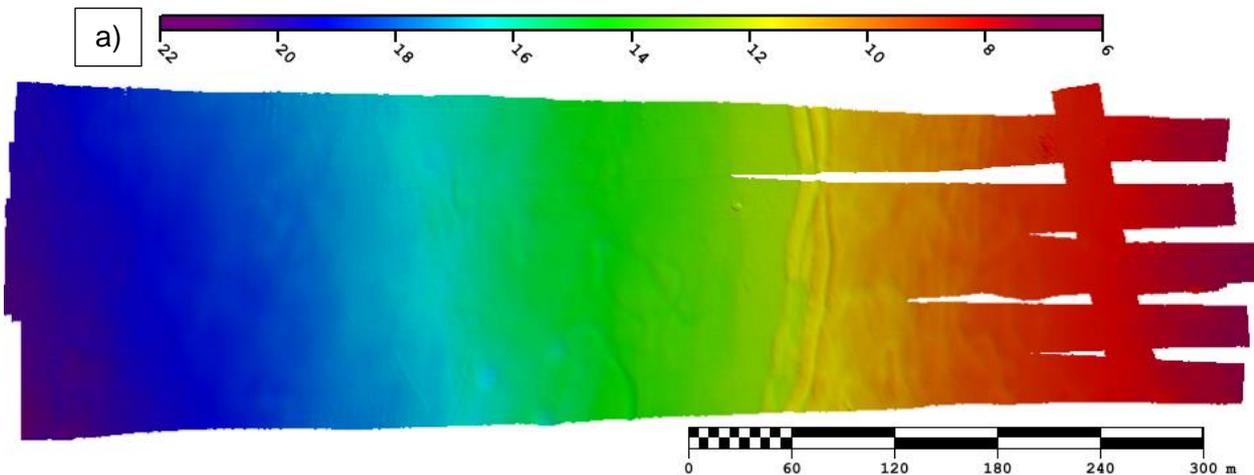


Figura 66 - Visualização do descasamento das linhas 4 (roxo) e 0 (azul) durante a escolha dos níveis de yaw inseridos. a) Yaw calibrada (0°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 1.0° . c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 3.0° . d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 6.0° .



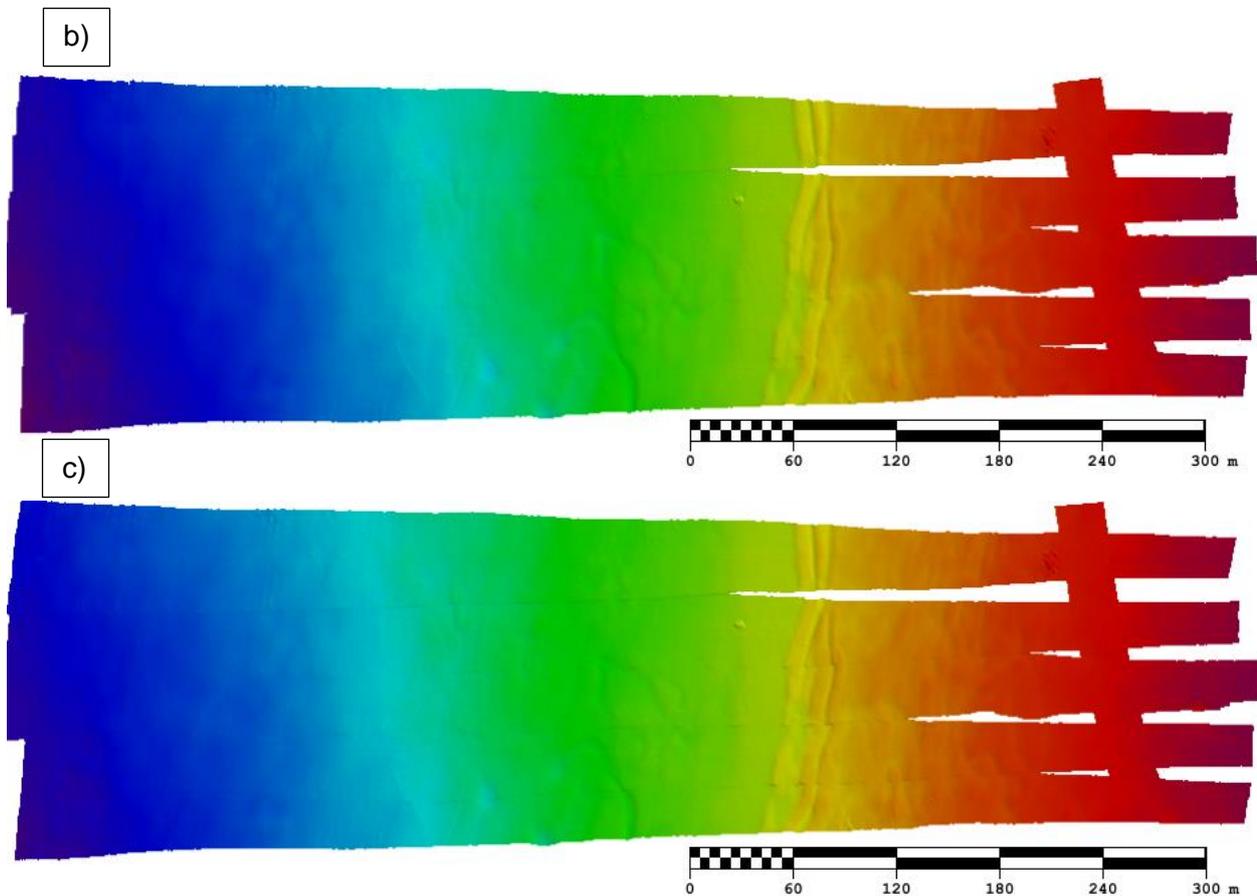


Figura 67 - - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de Yaw. a) Nível 1 = 1.0°. b) Nível 2 = 3.0°. c) Nível 3 = 6.0°

Mesmo que estes valores não sejam comumente encontrados nos levantamentos batimétricos, seu exagero foi adotado com o objetivo de simular seus efeitos em maiores profundidades.

Como o incremento do desvio de yaw é positivo, as linhas sofrem uma rotação no sentido horário em torno do eixo z. Este movimento gerou uma dupla detecção do gradiente pelos feixes externos das linhas que o iluminam criando assim uma ambiguidade na localização dos artefatos como apresentado no *subset* realizado na região 1 (Figura 70 e Figura 71).

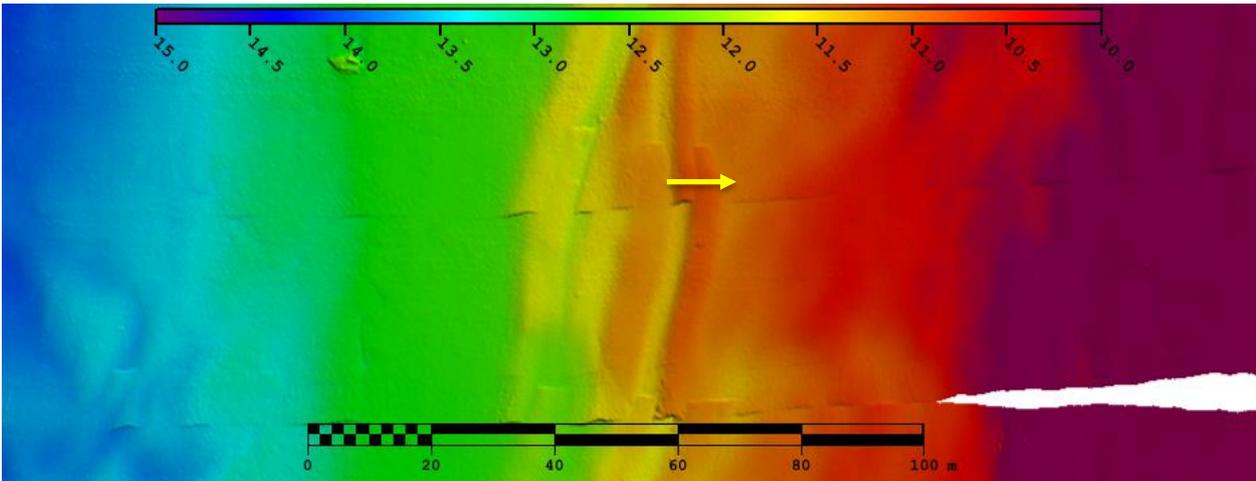
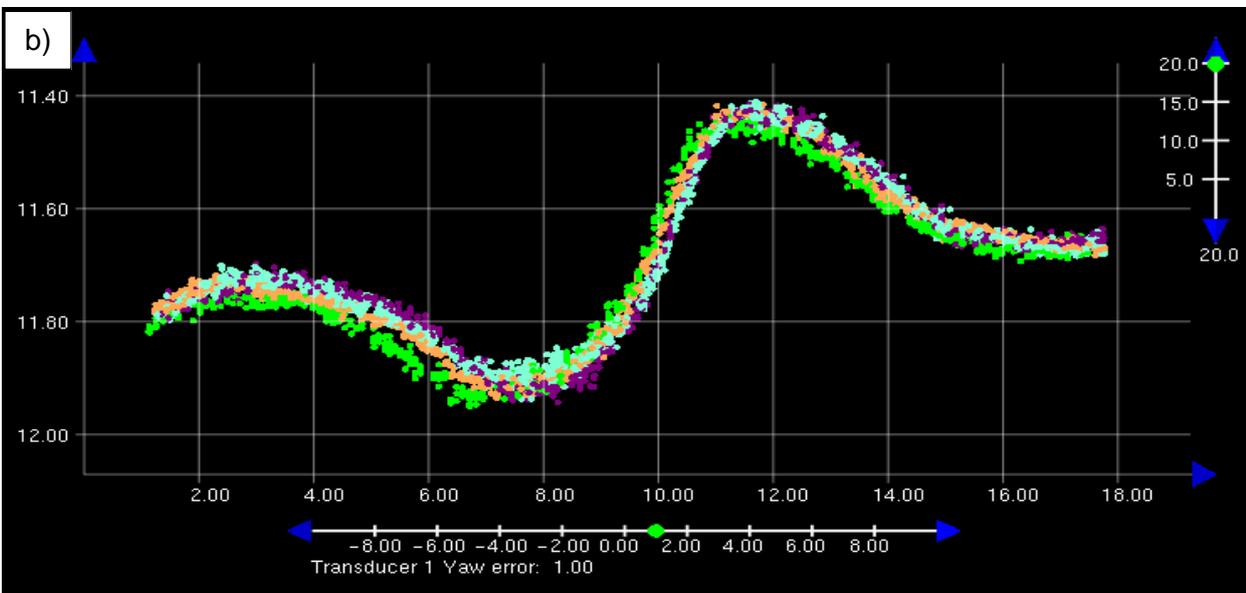
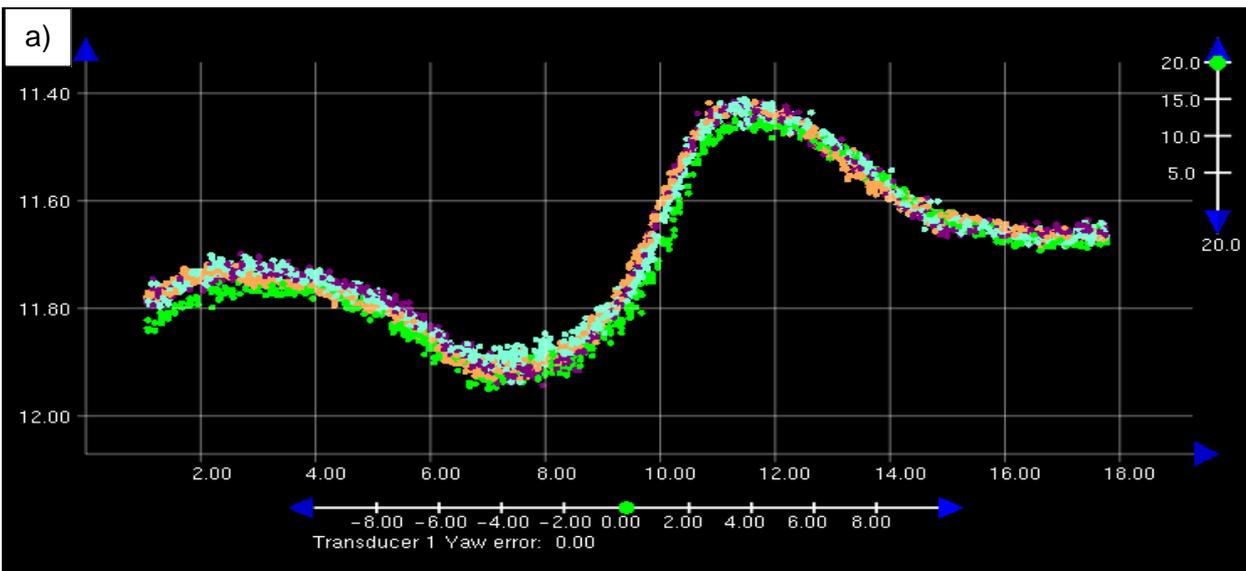


Figura 68 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em yaw. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 70 e Perfil da Figura 72.



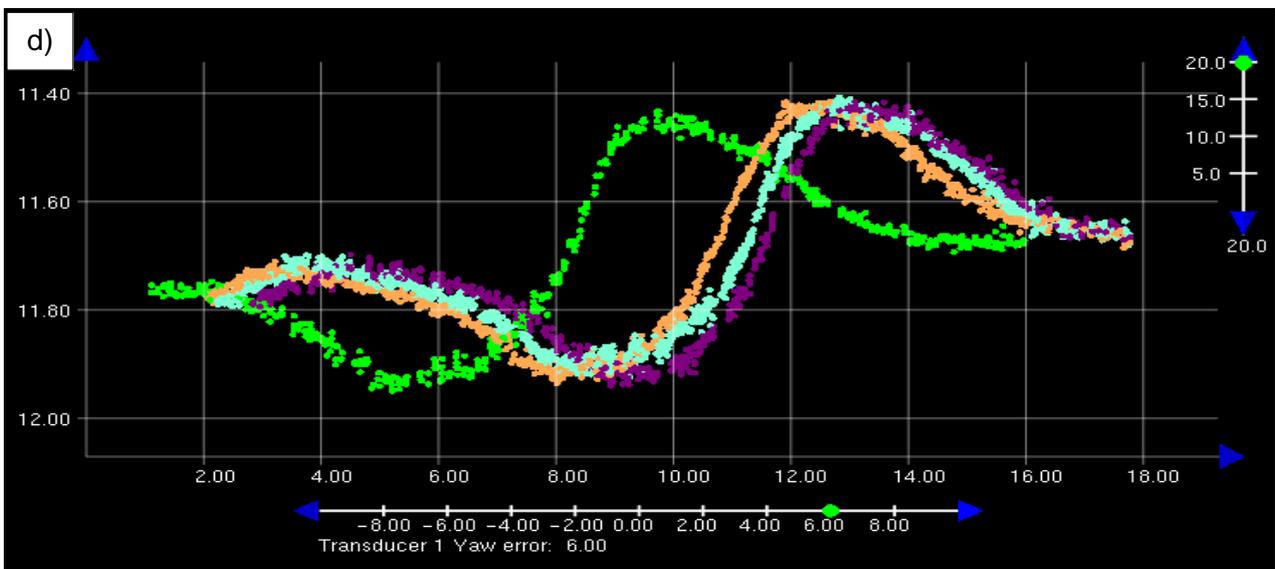
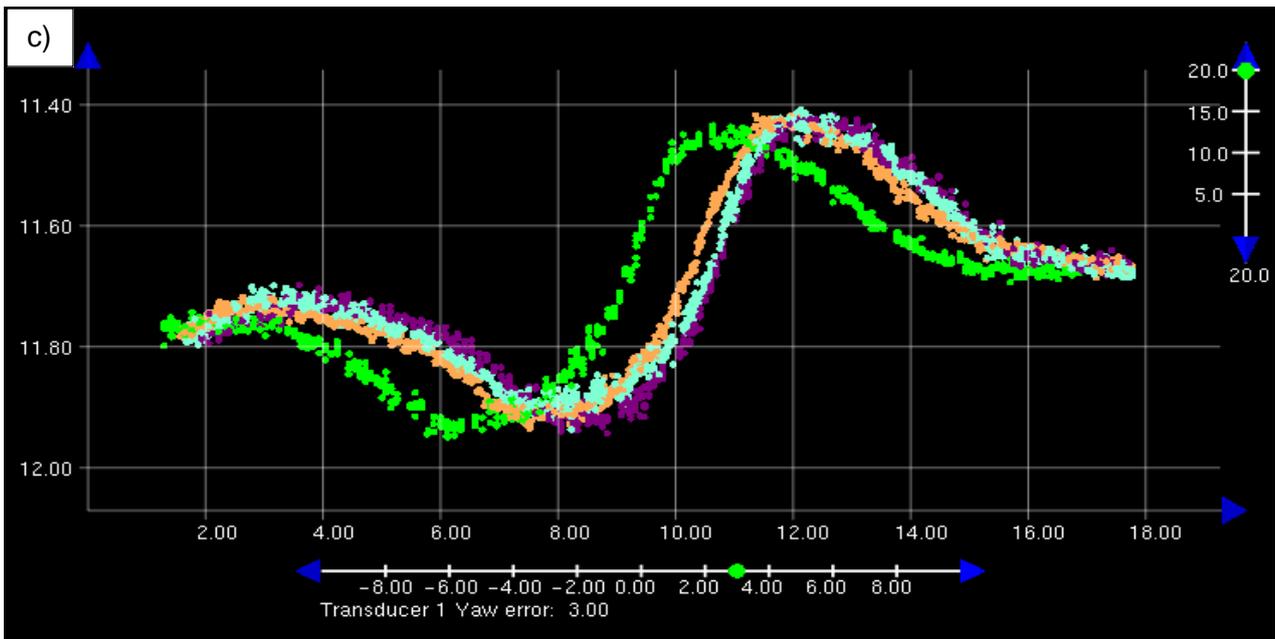
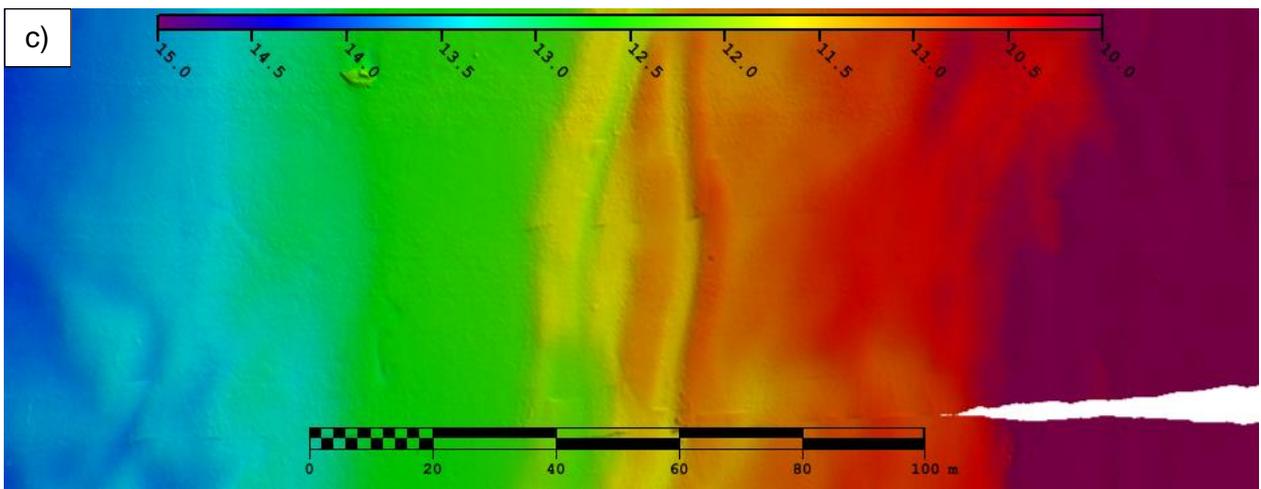
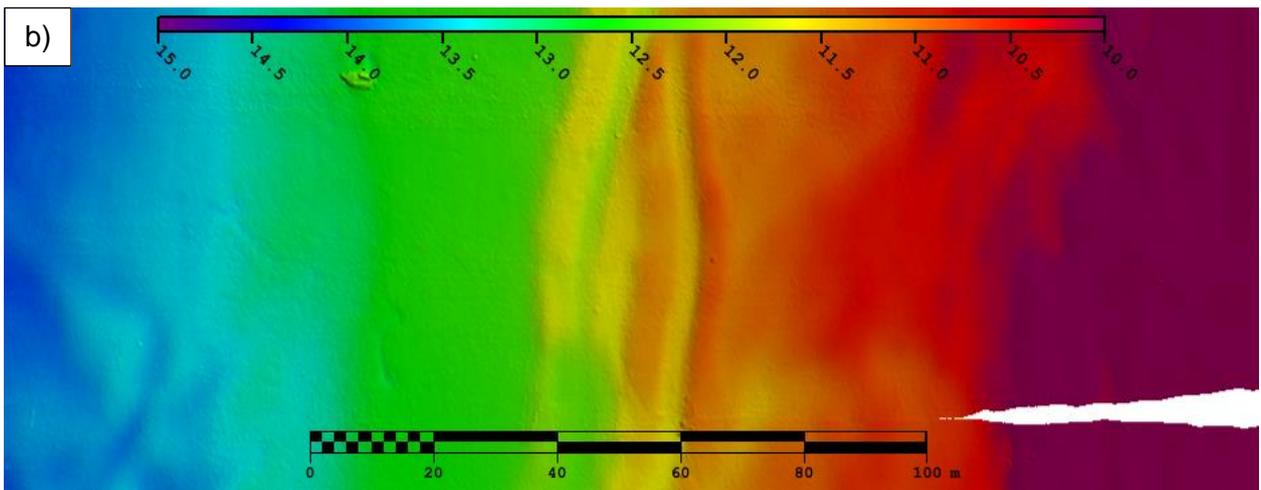
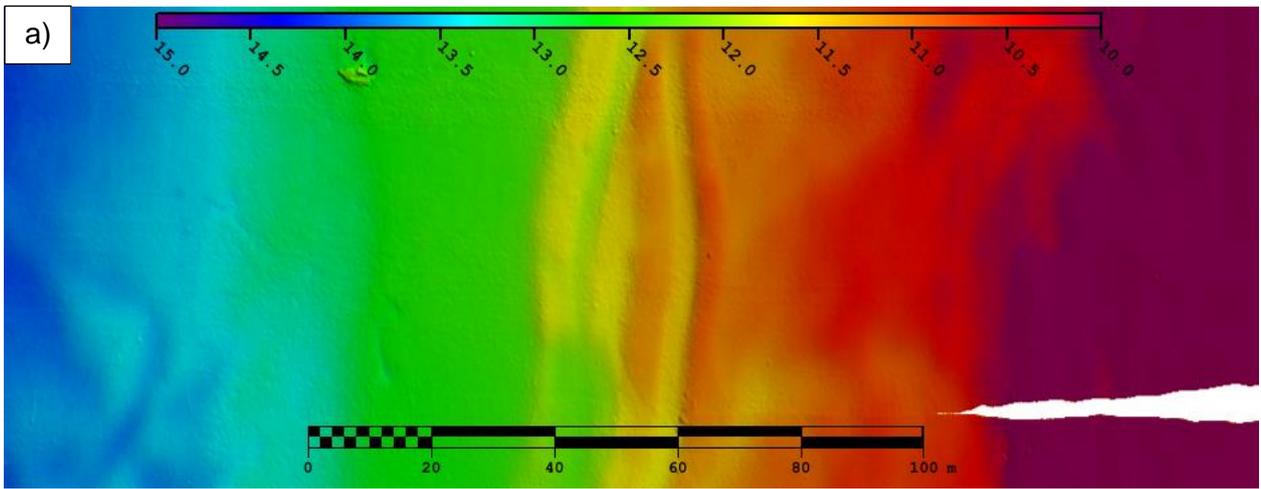


Figura 69 - Visualização do desfasamento das linhas 6 (laranja), 4 (azul), 2 (roxo) e 1 (verde) durante a escolha dos níveis de yaw inseridos. a) Yaw calibrada (0°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 1.0° . c) Desfasamento das linhas, Nível 2 = 3.0° . d) Exagero no desfasamento das linhas Nível 3 = 6.0° .

Mesmo utilizando valores altos para desvios em yaw, só foi possível identificar deformações relevantes na superfície ao alcançar 3.0° de yaw onde os cumes da estrutura se separam, como pode ser visto seus efeitos nas regiões da imagem Figura 72.c. O contraste brusco de profundidade gerado pelo giro das linhas criou pequenos degraus na intersecção dos feixes externos (Figura 73) que mesmo no desfasamento se tornaram sutis a identificação visual (Figura 72.c).



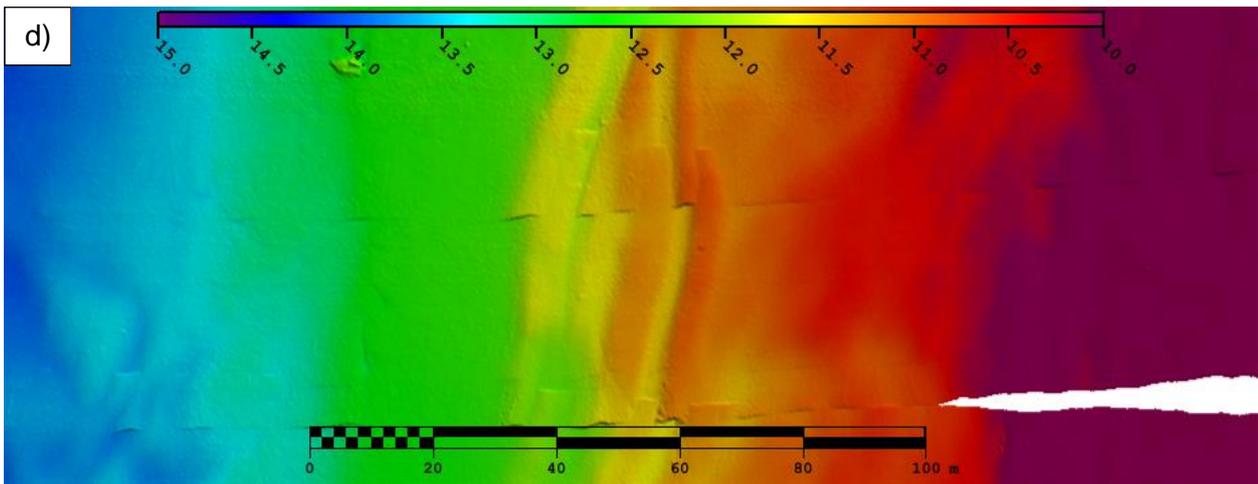


Figura 70 Visualização das deformações geradas com o aumento do desvio de yaw na região da borda do canal da Baía de Guanabara. a) Yaw calibrada (0.0°). b) Nível 1 = 1.0° . c) Nível 2 = 3.0° . d) Nível 3 = 6.0° .

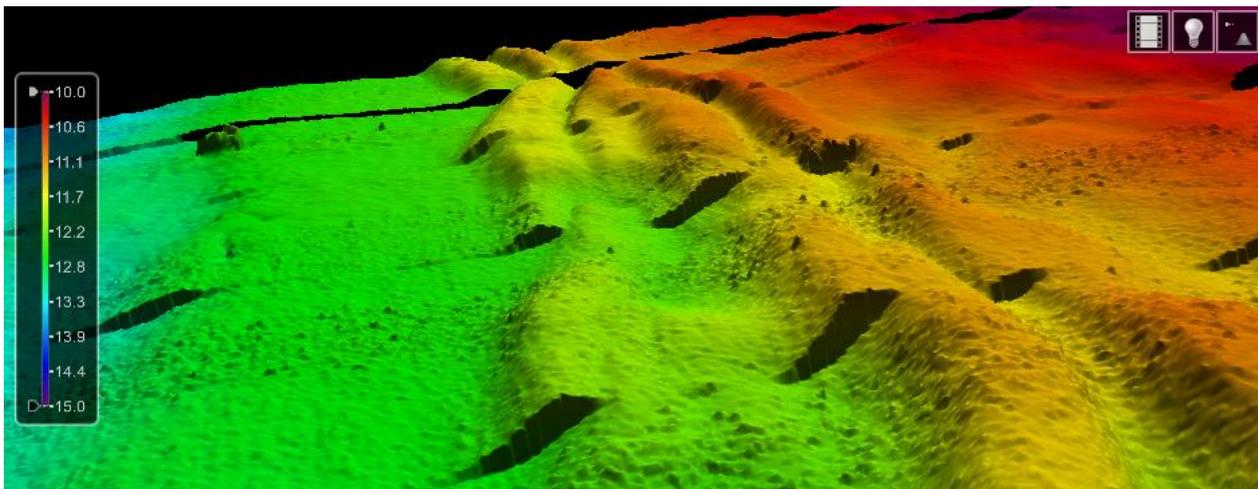


Figura 71 - Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 6.0° de yaw e exagero de 5 vezes.

Foi realizado um perfil gráfico sobre os feixes externos das linhas 1,6,4, e 2 (Figura 71 e 74) com o objetivo de evidenciar a evolução da dupla detecção gerada pela rotação dos feixes externos do *swath*. Ao analisar o perfil gerado sobre a superfície criada com o desvio de nível 2 e 3, foi identificado um deslocamento vertical da estrutura em uma de suas detecções em duas áreas diferentes.

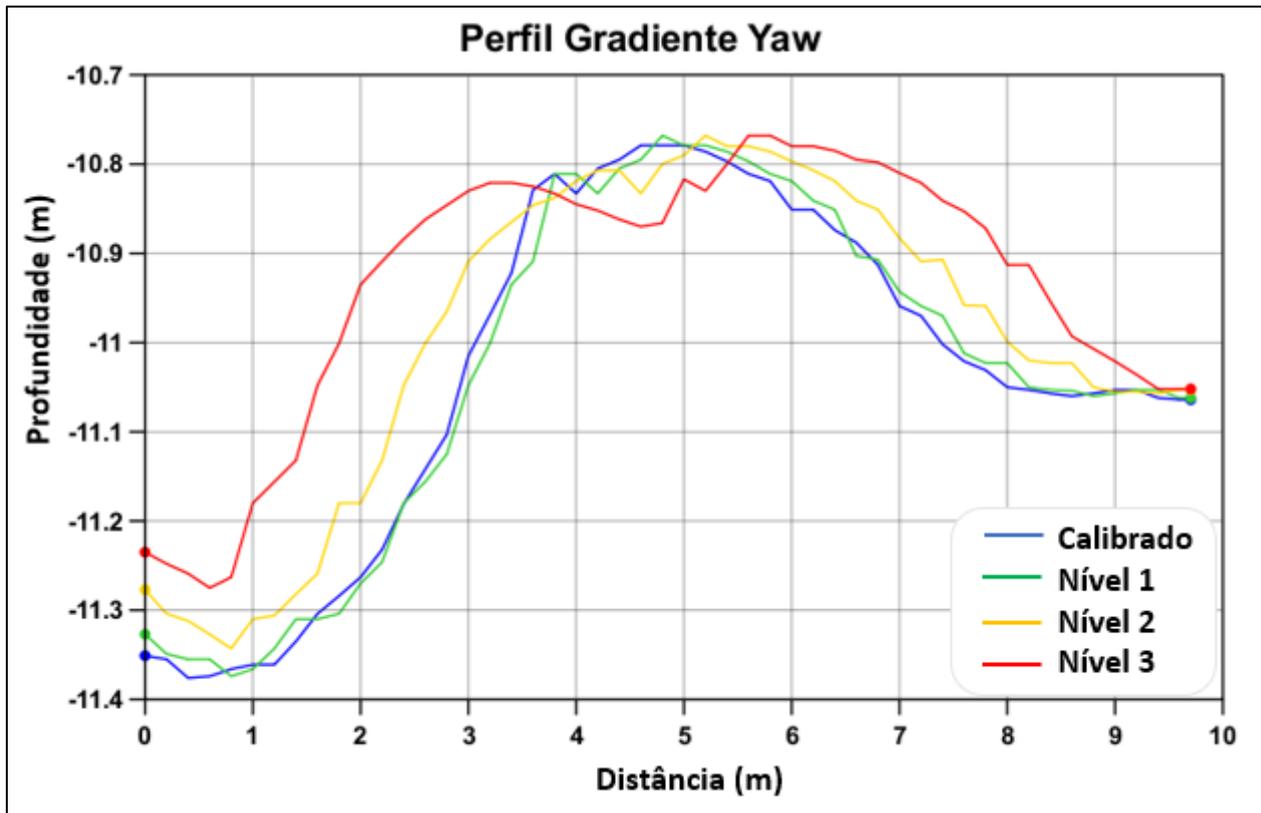


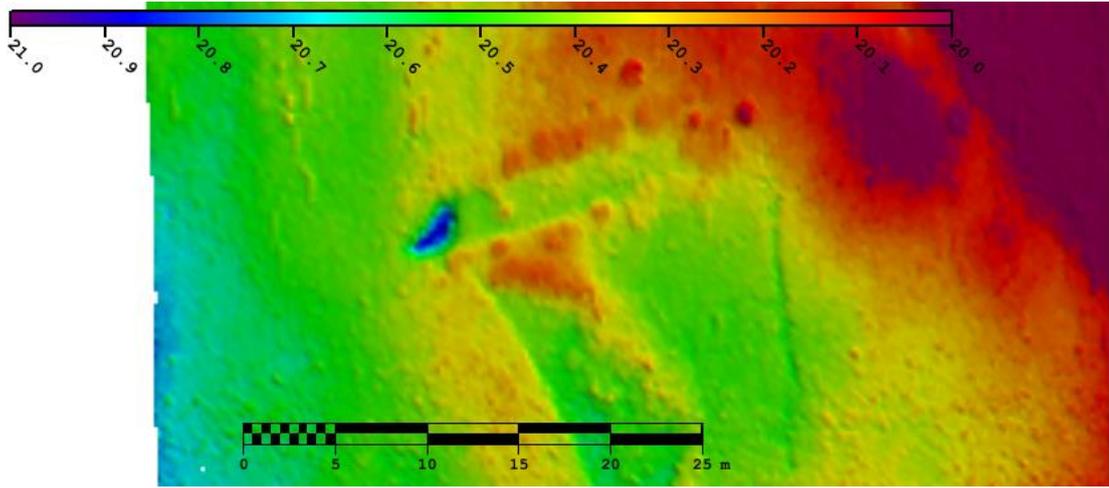
Figura 72 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em yaw.

Na primeira área, representada por uma região côncava, seu deslocamento de 10 cm ocorreu devido a detecção do artefato pela linha verde que por conta do desvio de yaw o identificou previamente, onde por possuir uma densidade de sondagens mais rasas que as demais, obteve mais influência na criação da *superfície shoal*.

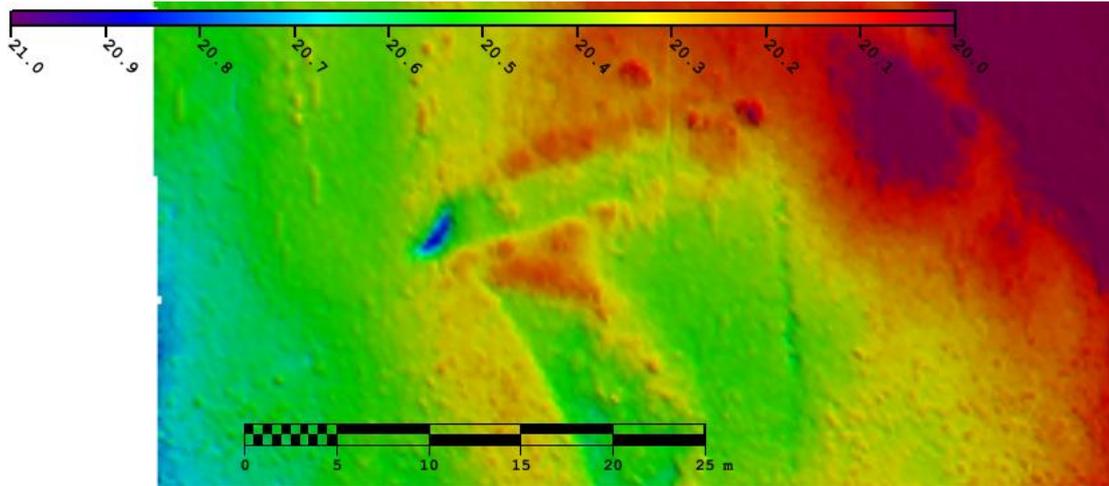
Já a segunda área, a queda inesperada do cume da estrutura se dá por conta de um descasamento vertical da linha verde com as demais, que pode ser evidenciado na Figura 71.c e 71.d. Este descasamento não é associado a erros de calibração, mas sim devido a problemas de *Heave* da linha 6.

O Artefato na região profunda também foi mascarado pela rotação proveniente do desvio em yaw (Figura 75). Como foi inserido um erro positivo de yaw, o transdutor gira no sentido horário e detecta primeiramente as estruturas a estibordo que a bombordo. Sendo assim as linhas 0 e 5, recíprocas e paralelas, identificaram a depressão localizações diferentes (Figura 76) ocasionando no recobrimento do artefato com sondagens mais rasas.

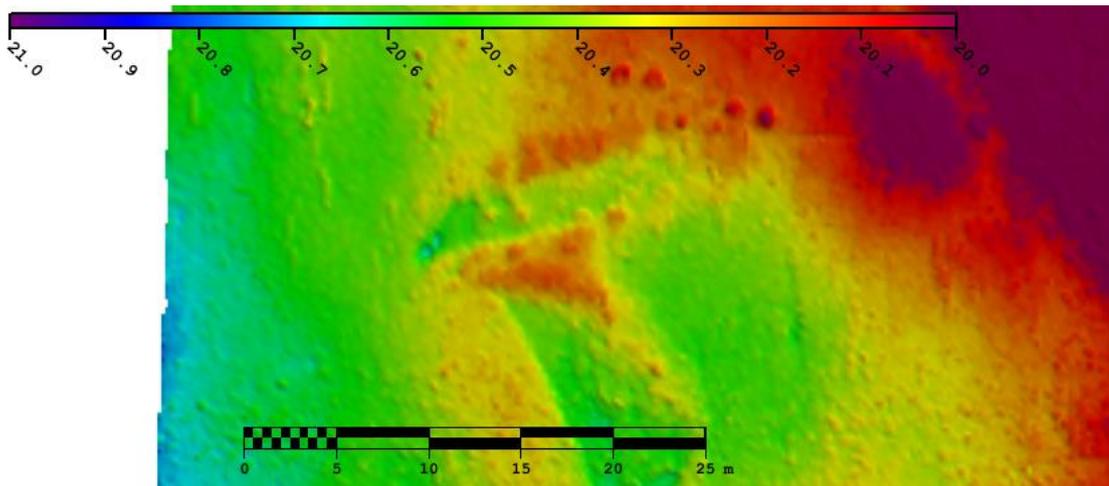
a)



b)



c)



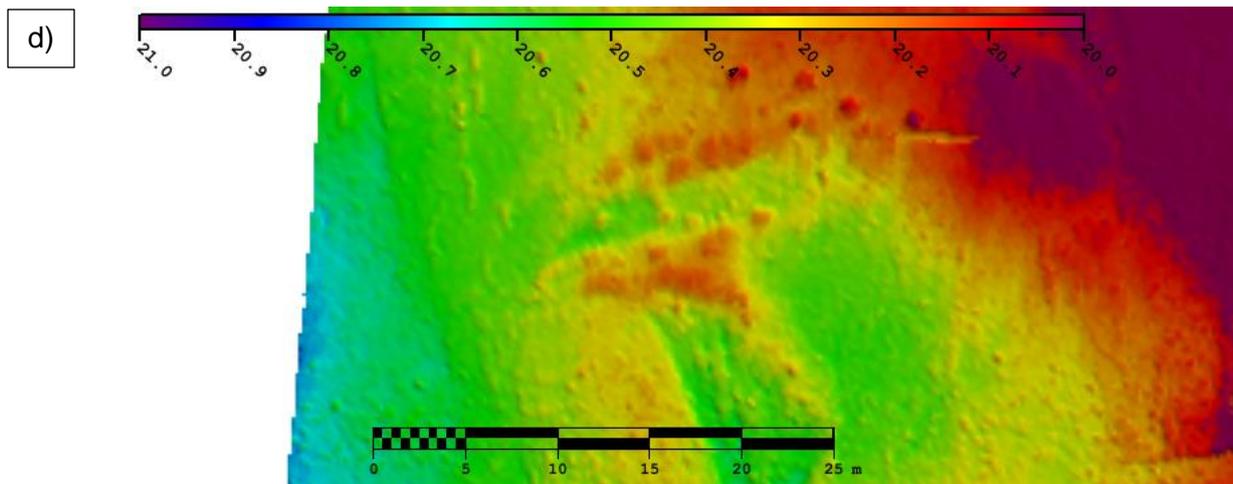


Figura 73 - Visualização das dos efeitos gerados com o aumento da inclinação em yaw em uma estrutura localizada sobre os feixes externos de duas linhas recíprocas e paralelas com total cobertura do artefato. a) yaw calibrada (0.0°). b) Nível 1 = 1.0° . c) Nível 2 = 3.0° . d) Nível = 6.0° .

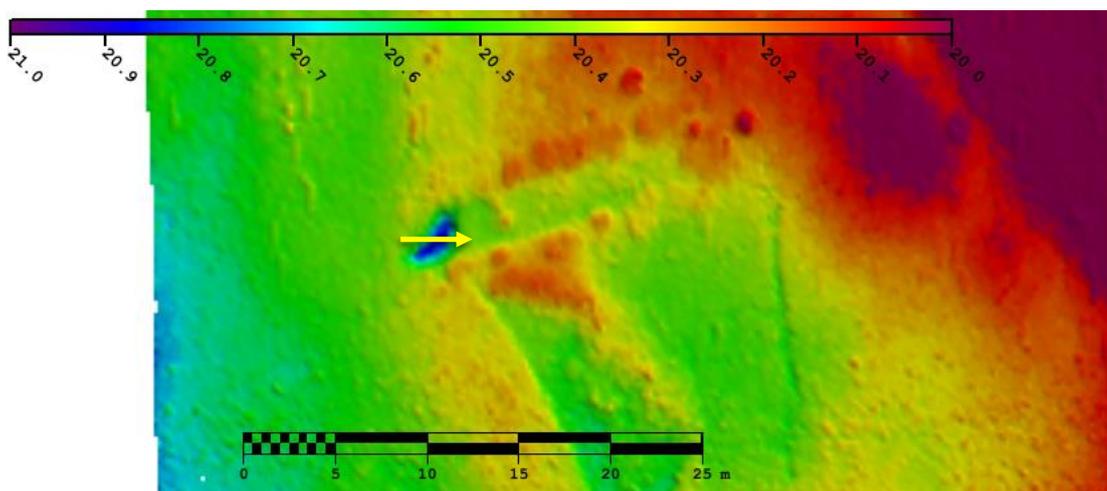
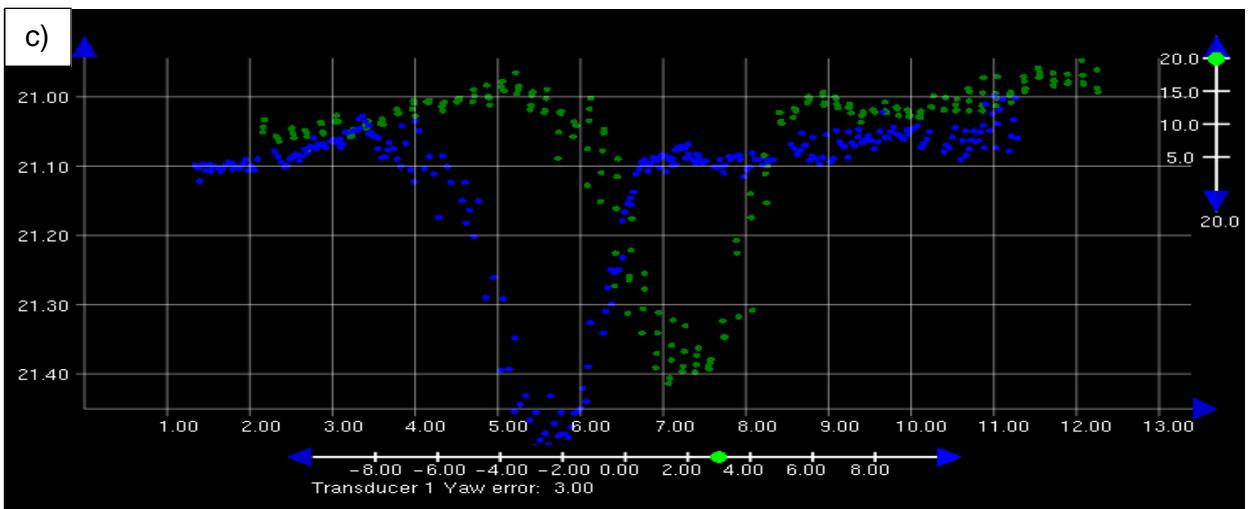
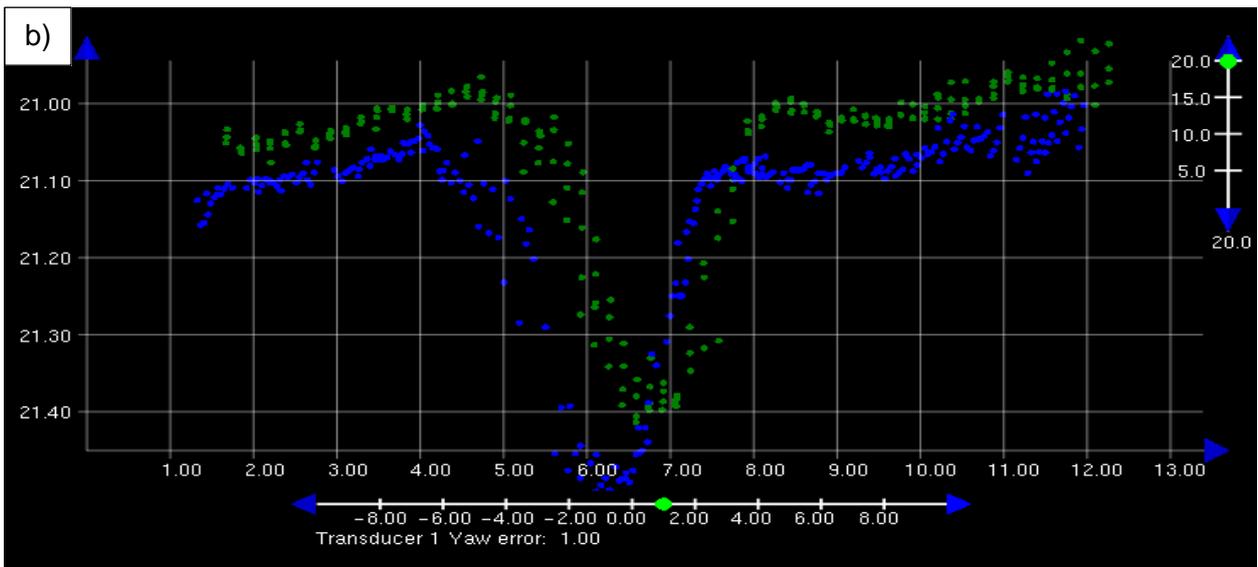
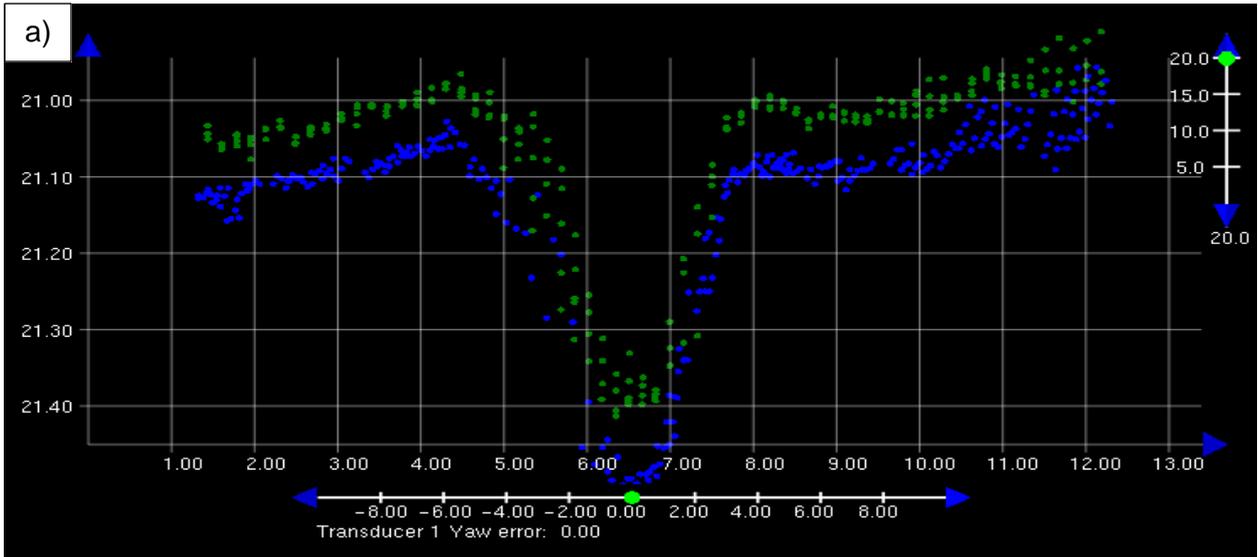


Figura 74 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em yaw. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 75 e Perfil da Figura 76.

Nesta região foi possível visualizar a sensibilidade dos efeitos causados pelo desvio de yaw com o aumento de 10 metros de profundidade. Esta sensibilidade pôde ser evidenciada ao comparar o descasamento das linhas entre a região mais rasa (10 a 12 m) e mais profunda (20 ~22 m). Enquanto na primeira a separação é de 1.3~1.5m (Figura 71 c), na segunda a separação chega a 2m (Figura 77 c), tendo um aumento de 20~50 cm da distância entre a primeira e a segunda detecção. Entretanto, os degraus vistos na região mais rasa não puderam ser evidenciados devido a uma maior uniformidade na região.



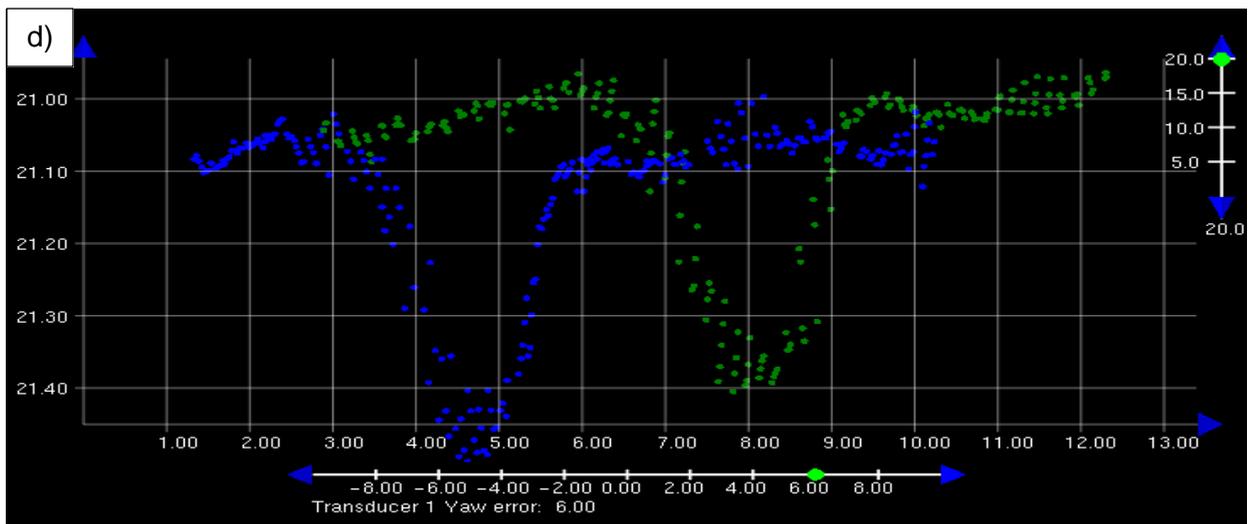


Figura 75 Visualização da detecção do artefato pelas linhas 0 (azul) e 5 (verde) em diferentes localizações no subset editor com o aumento do desvio em Yaw. a) Yaw calibrada (0.0°). b) Nível 1 = 1.0°. c) Nível 2 = 3.0°. d) Nível 3 = 6.0°.

O perfil associado a segunda região (Figura 78) mostra claramente dois eventos importantes. O primeiro deles é o deslocamento horizontal causado pela inclinação em yaw e representado pela movimentação da borda do artefato ao longo do perfil onde 1.0° de yaw movimentou a detecção cerca de 20.0 cm e evoluindo rapidamente para 1.0 m ao atingir 3.0°, o que já foi capaz de mascarar quase completamente a depressão perdendo 40 cm de profundidade.

O segundo é o deslocamento vertical que ocorre na borda Leste do perfil, caracterizada novamente pelo descasamento das linhas. Como pode ser verificado no gráfico, a variação de profundidade demarcada no perfil não ultrapassa os 8 cm de separação das linhas.

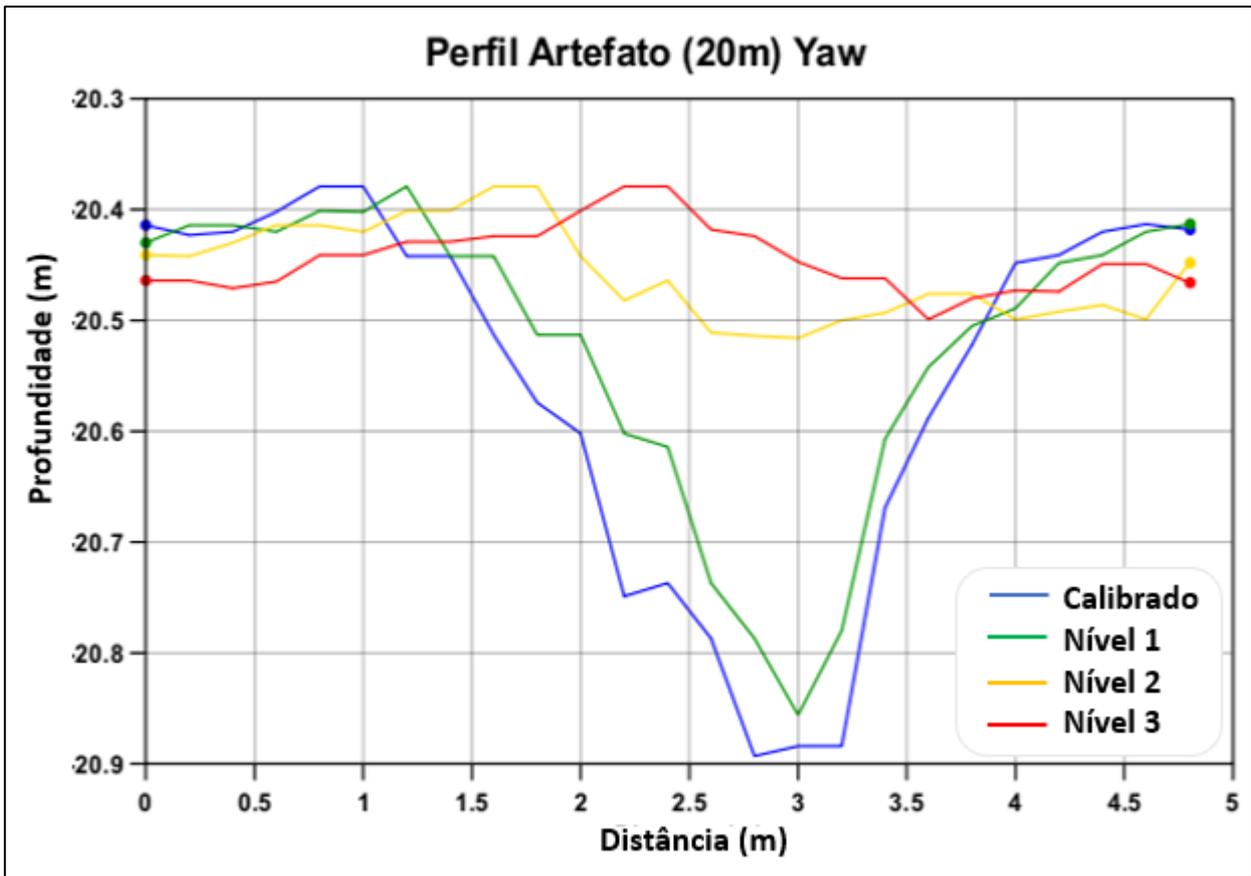
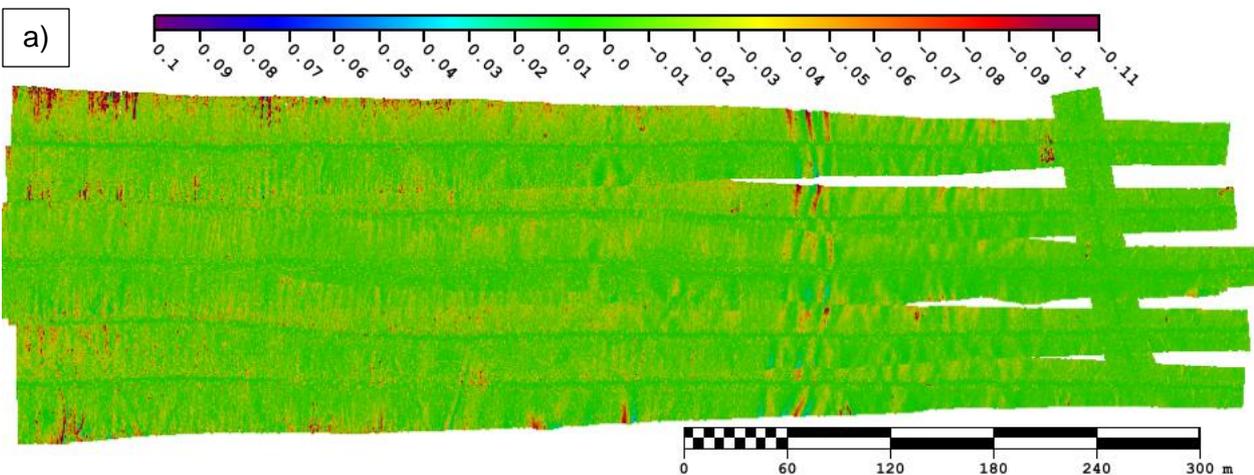


Figura 76 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em yaw.

As superfícies diferença entre a superfície calibrada e as superfícies com yaw inserido (Figura 79) apresentam as áreas onde foram mais sensíveis a rotação causada pelo aumento de yaw. As regiões mais alteradas foram as que continham estruturas bem definidas e rugosidade, como pode ser visto na região mais rasa localizada na parte centro-leste das linhas.



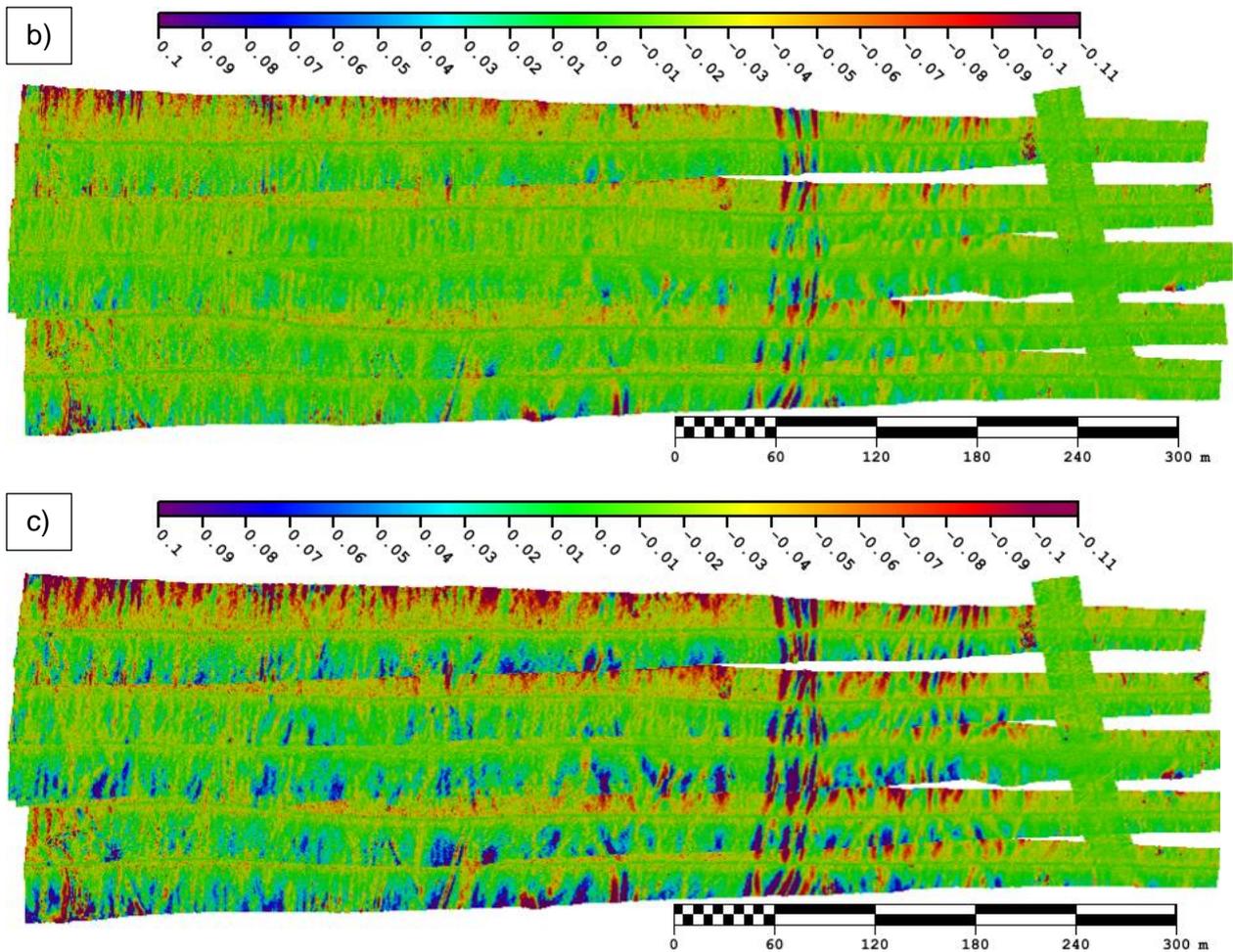


Figura 77 - Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada em yaw. a) Nível 1 = 1.0°, b) Nível 2 = 3.0°, c) Nível 3 = 6.0°

A partir destas superfícies diferença foi criado o gráfico de densidade do resíduo de profundidade causado pelos erros inseridos em yaw (Figura 80). Neste gráfico foi possível identificar que o pico da curva, centrado em 0, não se tornou mais positivo como ocorreu nos gráficos anteriores. Isto está relacionado a dominância de regiões planas na superfície que pouco se alteram com o direcionamento das linhas. Já a cauda das curvas de densidade, mesmo com altos ângulos de yaw, não alcançaram magnitudes maiores que 10 cm. Essa limitação é relacionada ondulações da borda do canal que não ultrapassam 5 cm de diferença em relação ao seu entorno.

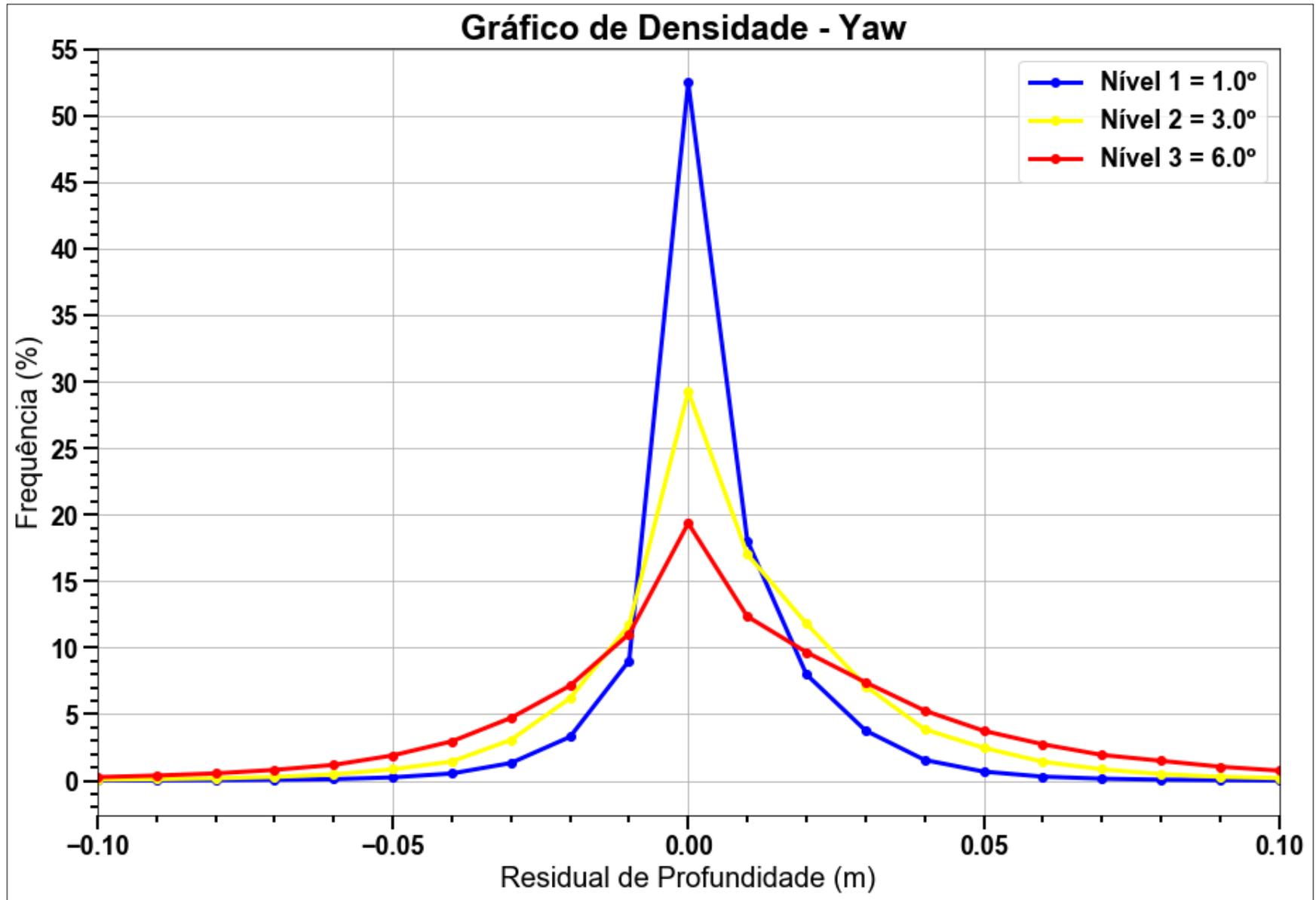


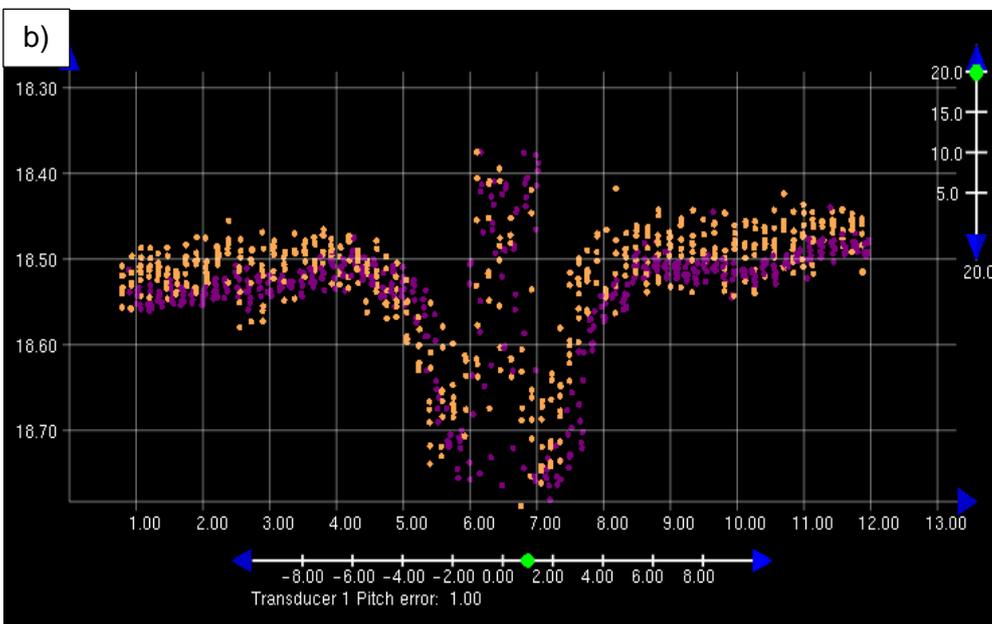
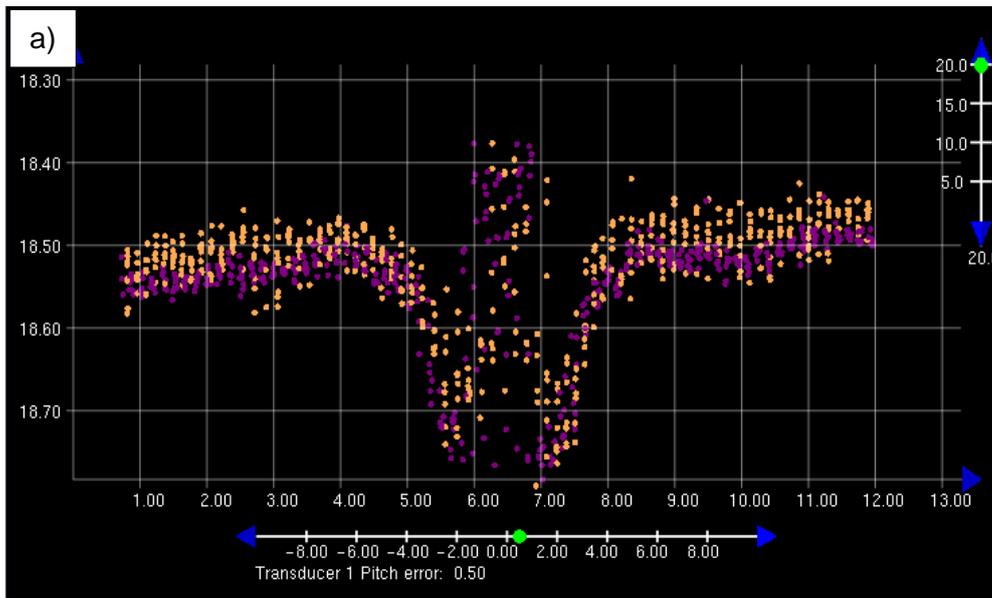
Figura 78 - Gráfico de Densidade do Resíduo de profundidade causado pelo incremento de yaw a cada nível.

5.4.4 ANÁLISE DE *PITCH*

Para se analisar os efeitos dos desvios angulares em *pitch* foi realizado um *slice* de *subset* no local de análise do *patch test* de *pitch* (Figura 81) e induzido três valores de desvio (Tabela 8). A partir destes novos valores foram criadas três superfícies onde foram realizadas as análises (Figura 82).

Tabela 8 - Tabela dos níveis de *pitch* inseridos

Nível	Valor Inserido (segundos)	Valor Absoluto (segundos)
1	+0.5	1.0
2	+1.5	2.0
3	+2.5	4.0



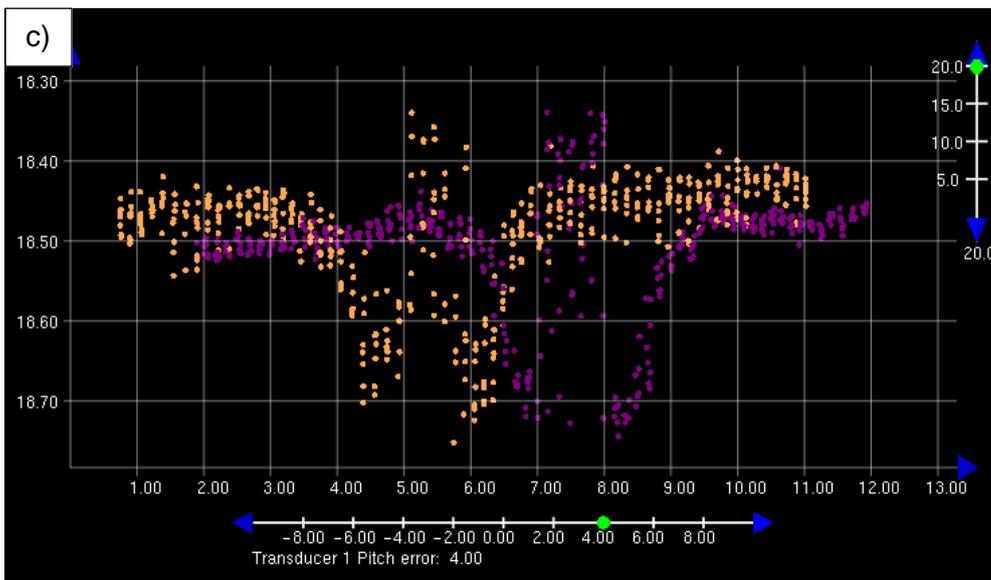
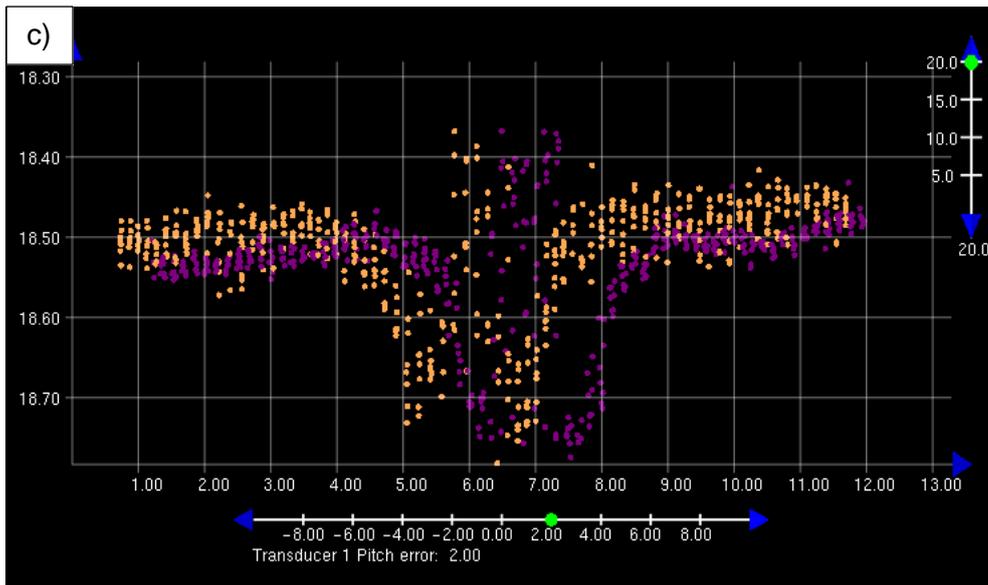
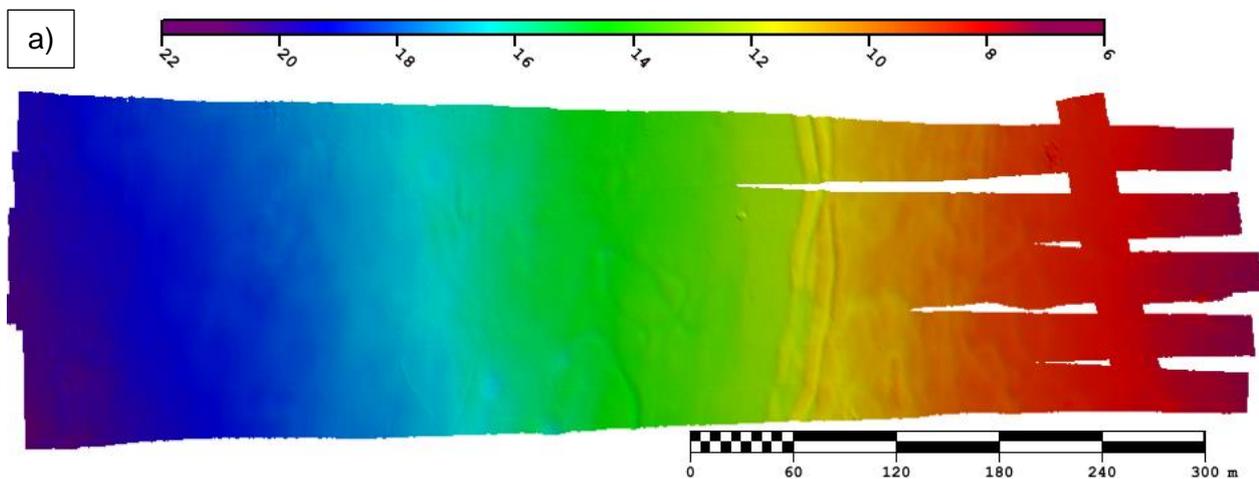


Figura 79 - Visualização do descasamento das linhas 1 (laranja) e 4 (roxo) durante a escolha dos níveis de pitch inseridos. a) Pitch calibrado (0.5°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 1.0° . c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 2.0° . d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 4.0° .



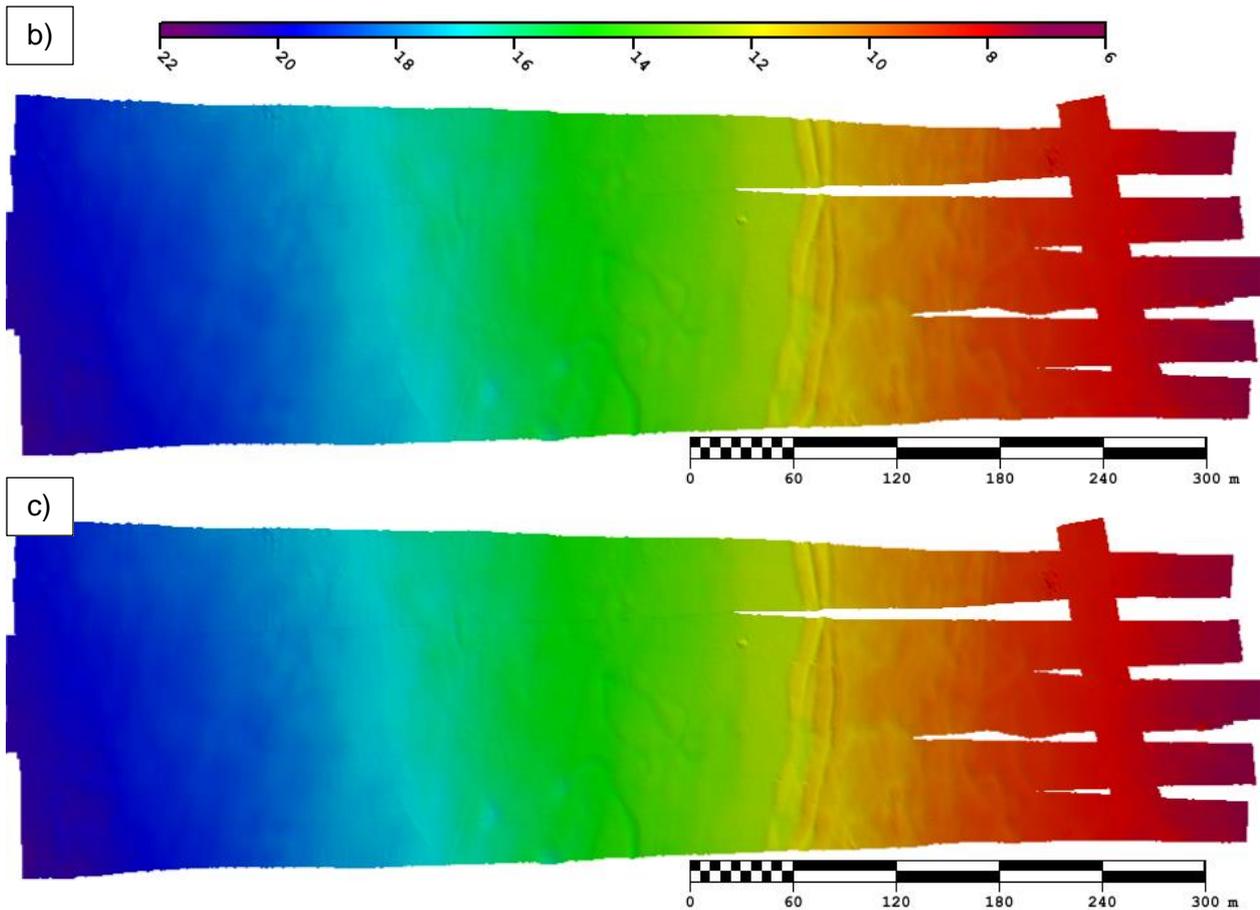


Figura 80 - Evolução das deformações na superfície pelo incremento da intensidade de *pitch*. a) Nível 1 = 1.0°. b) Nível 2 = 2.0°. c) Nível 3 = 4.0°

Com a inserção de erros em *pitch*, foi claramente identificado que as deformações sofridas na superfície se assemelham às causadas pela inserção de latência (Figuras 83, 84, 85 e 86). Contudo diferente do caso de latência, foi necessário intensidades de *pitch* bem maiores para alcançar o mesmo resultado. Para que o desvio em *pitch* alcançasse uma deformação semelhante à da Latência com 0.5s, foi necessário um erro de 4.0° de *pitch*, o que foge bastante dos valores encontrados normalmente em Campo.

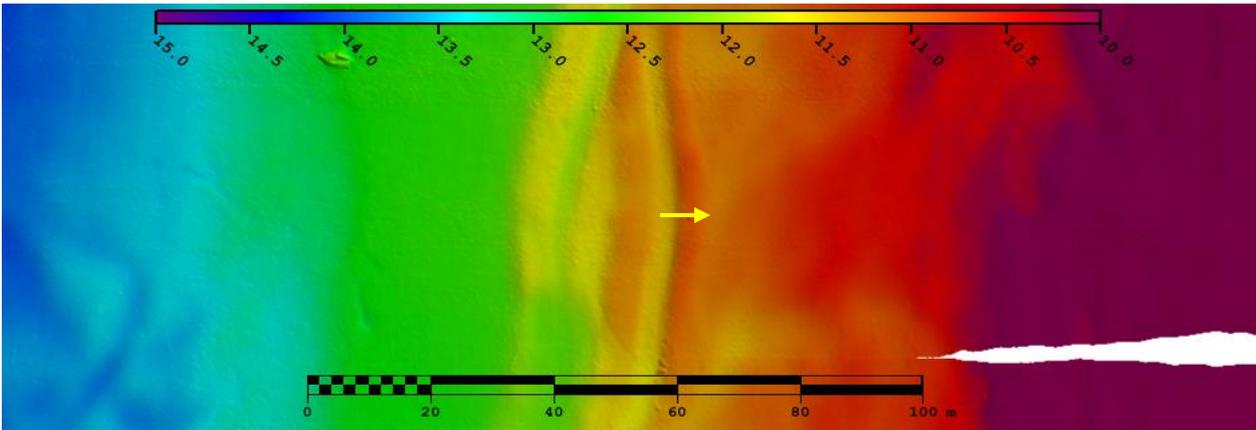
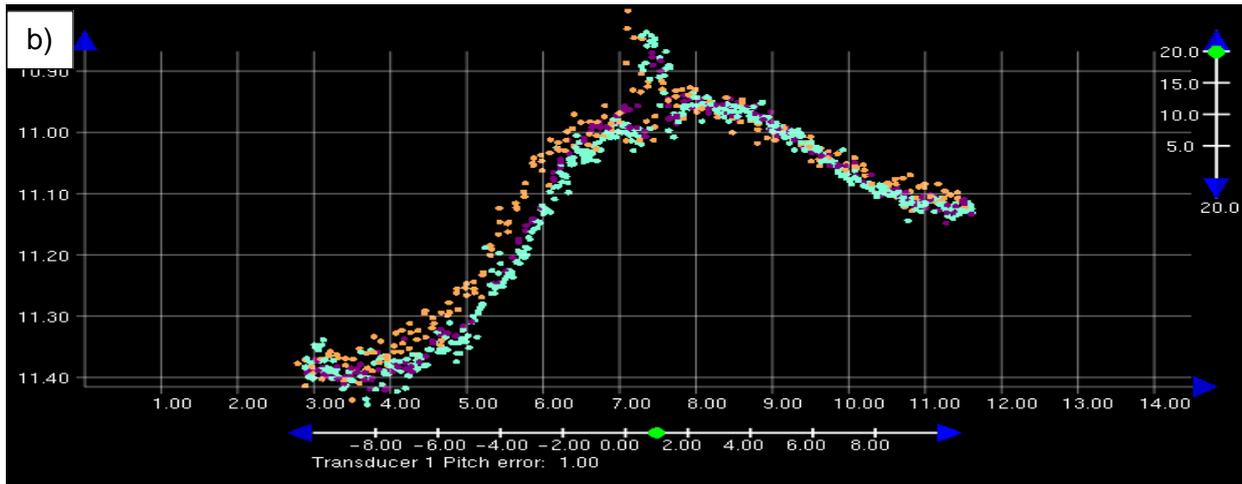
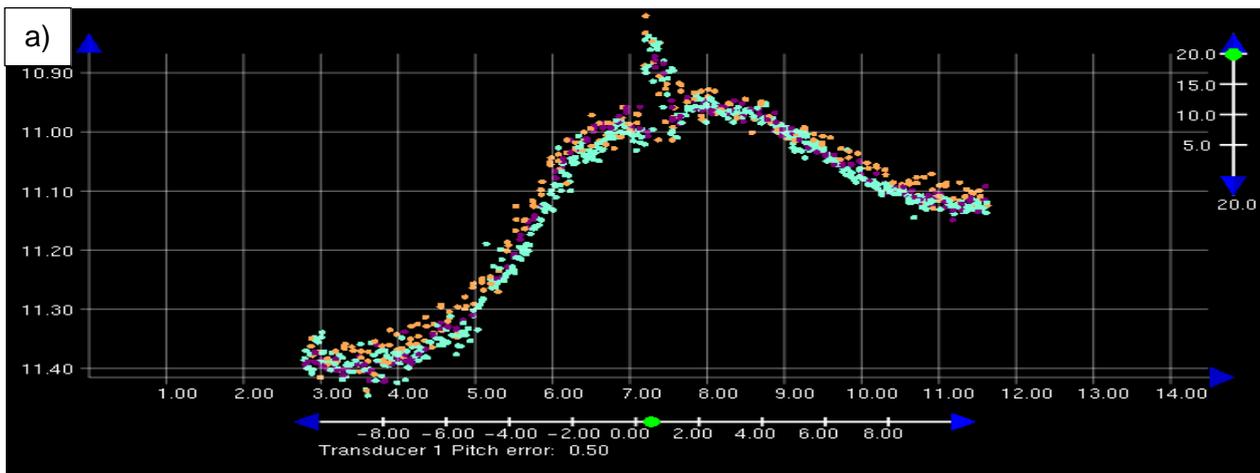


Figura 81 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em pitch. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 84 e Perfil da Figura 87.



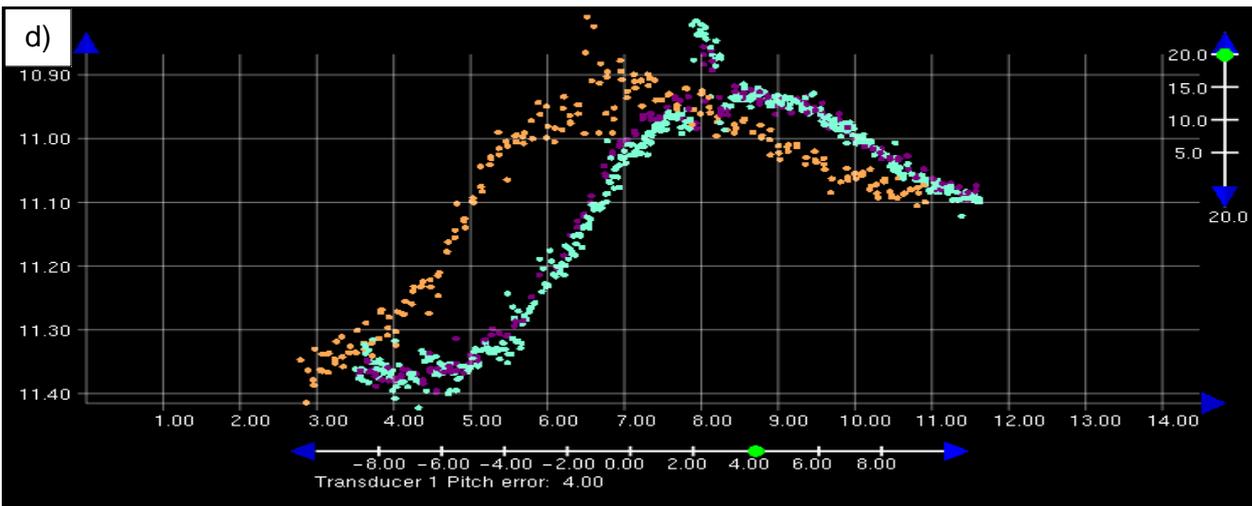
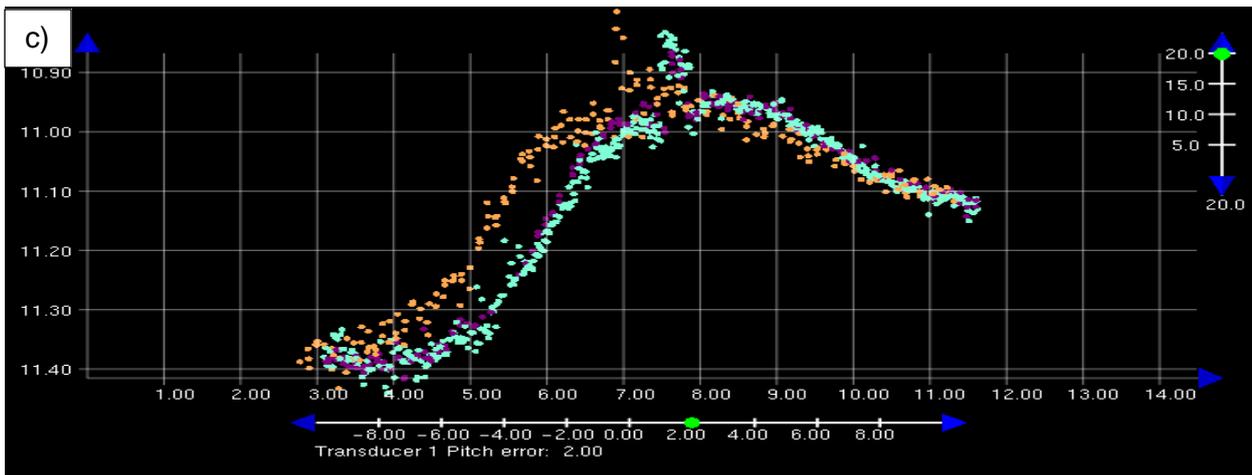
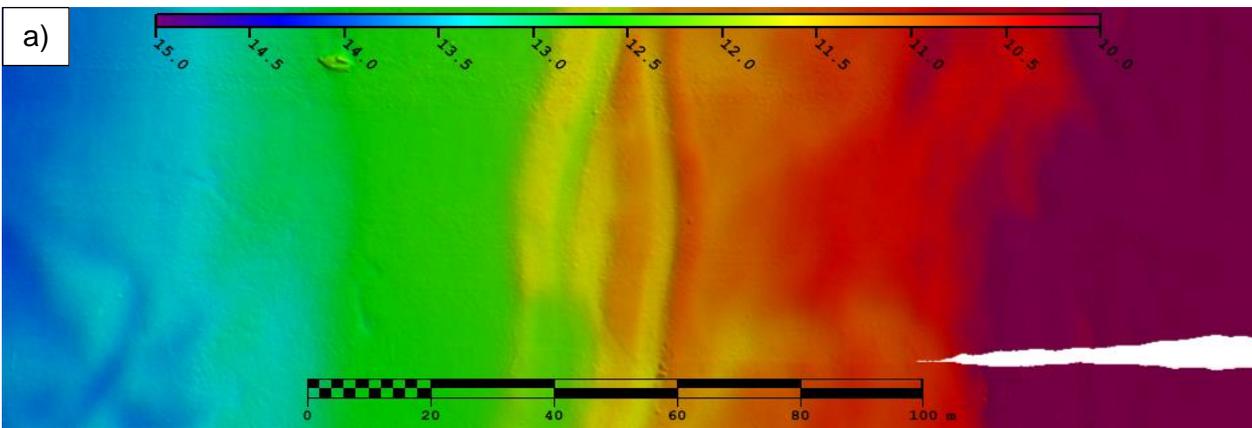


Figura 82 Visualização do descasamento das linhas 6 (roxo), 4 (azul) e 1 (laranja) e, durante a escolha dos níveis de Pitch inseridos. a) Pitch calibrada (0.5°). b) Primeira mudança visualmente identificável, Nível 1 = 1.0° . c) Descasamento das linhas, Nível 2 = 2.0° . d) Exagero no descasamento das linhas, Nível 3 = 4.0° .



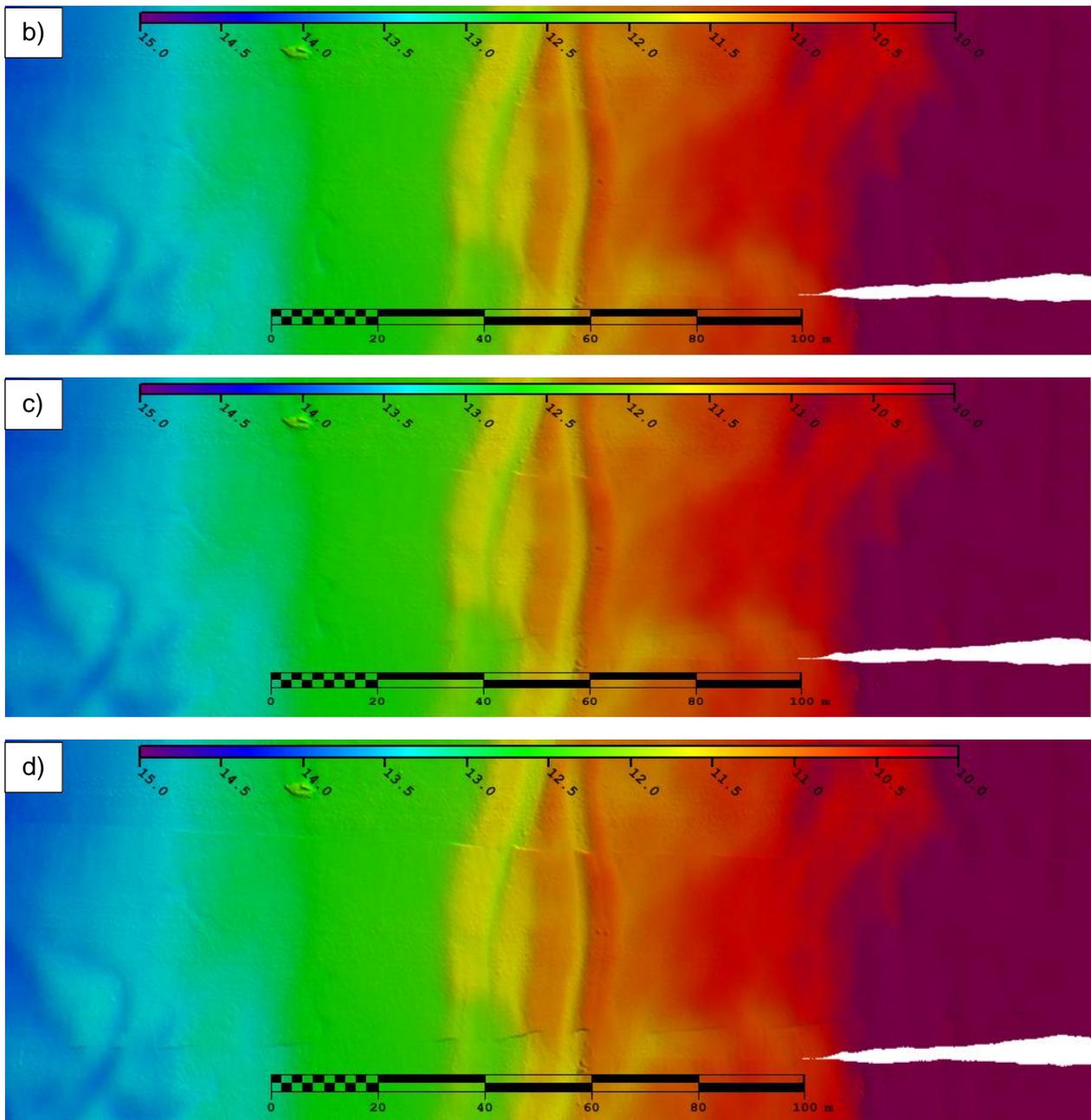


Figura 83 - Visualização das deformações geradas com o aumento do desvio de Pitch na região da borda do canal da Baía de Guanabara. a) Pitch calibrada (0.5°). b) Nível 1 = 1.0° . c) Nível 2 = 2.0° . d) Nível 3 = 4.0° .

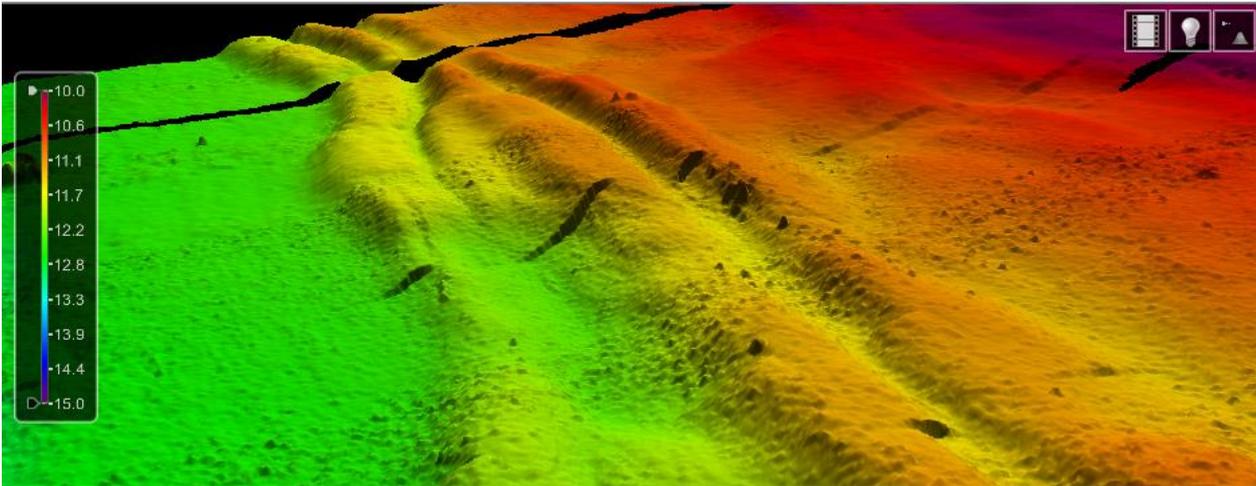


Figura 84 Visualização 3d da Região 1 e suas deformações com 4.0° de Pitch e exagero de 5 vezes.

A influência da profundidade sobre os efeitos de *pitch* é visível ao comparar a separação das linhas na Região 1 e na Região 3 (Figura 81). Enquanto na Região 3 ao aplicar um desvio de 1.5° de *pitch* a estrutura foi deslocada 1.0 m (Figura 81.c) na Região 1 o deslocamento se reduziu pela metade (Figura 83.c). O perfil gráfico (Figura 87) mostra a evolução da deformação da superfície ao longo dos feixes centrais das linhas sobre a estrutura da Região 1 se comportaram com o aumento gradual da angulação em *pitch*.

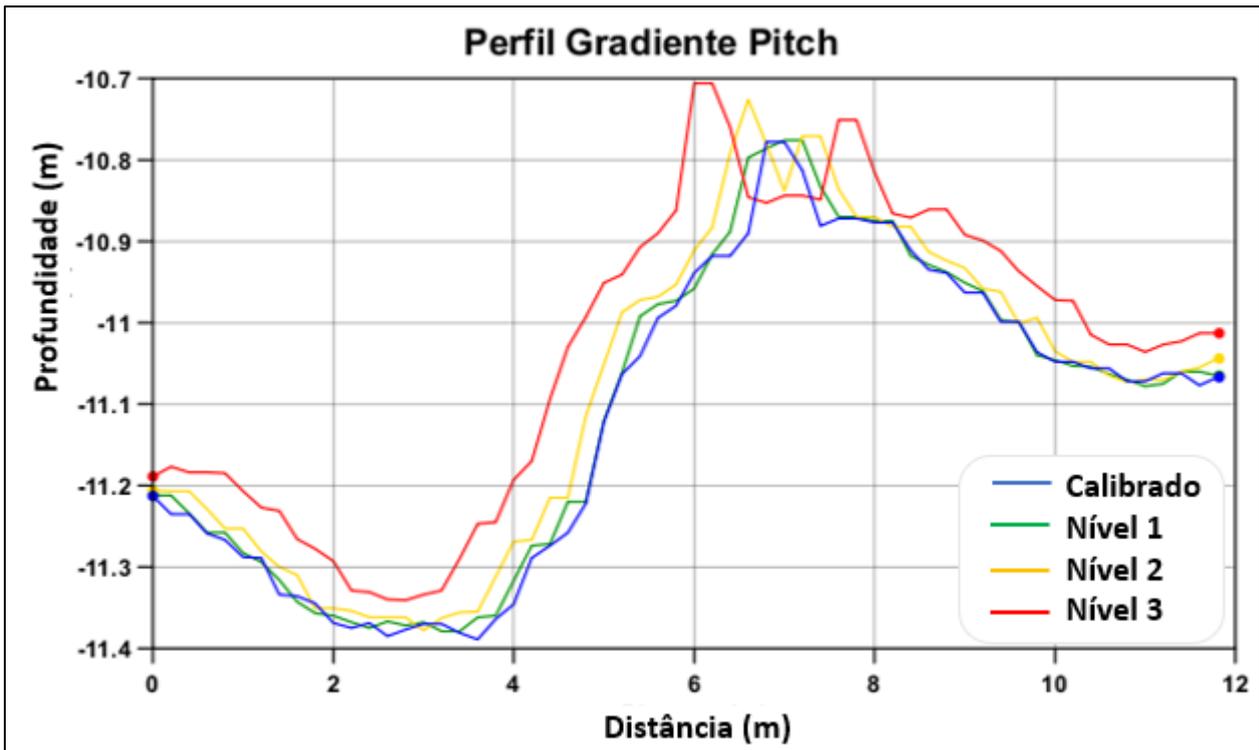
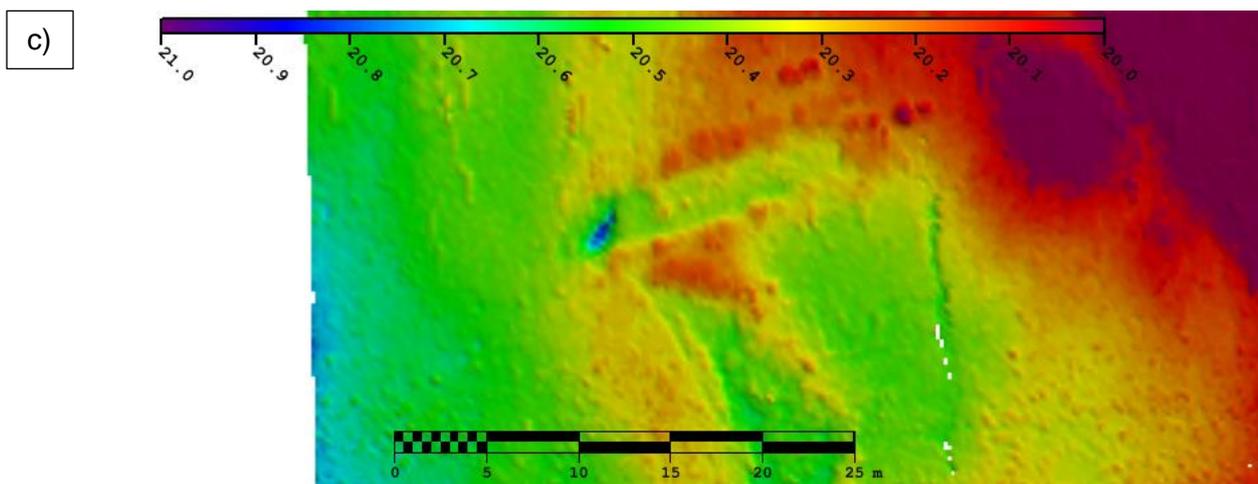
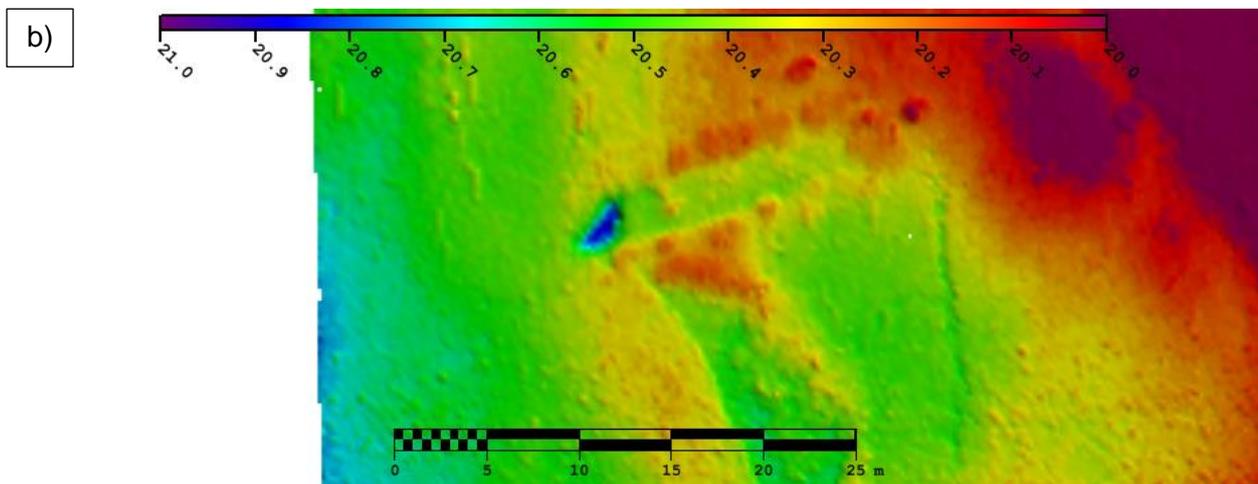
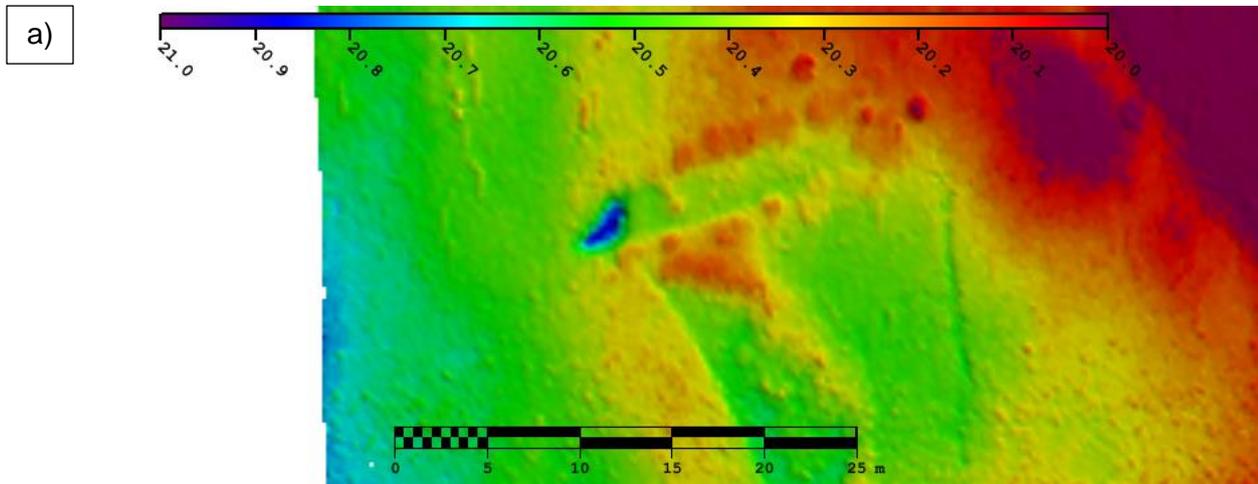


Figura 85 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em *pitch*.

Um *pitch* positivo inclina a proa da embarcação para baixo. Por conta disso, quando as linhas percorrem de leste para oeste, elas trazem as sondagens mais rasas para regiões mais profundas e quando as linhas percorrem de oeste para leste, elas trazem as sondagens mais profundas para regiões mais rasas. Este processo foi suficiente para mascarar novamente a depressão na região mais profunda da superfície ao trazer ao deslocar as sondagens mais rasas na direção da navegação (Figuras 88).



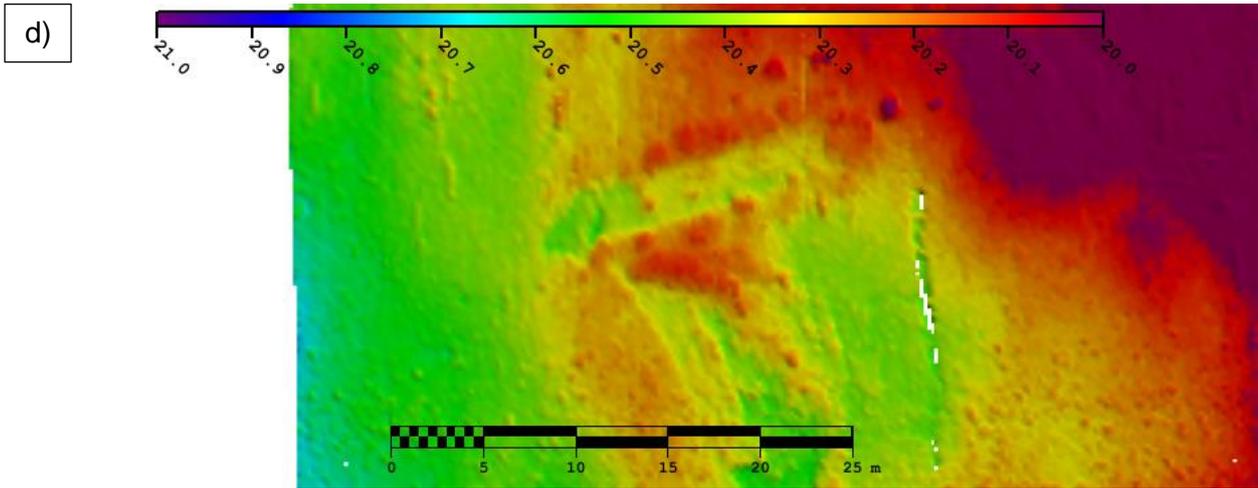


Figura 88 - Visualização das dos efeitos gerados com o aumento do desvio em pitch em uma estrutura localizada sobre os feixes externos de duas linhas recíprocas e paralelas com total cobertura do artefato. a) Pitch calibrada (0,5°). b) Nível 1 = 1,0°. c) Nível 2 = 2,0°. d) Nível 3 = 4,0°

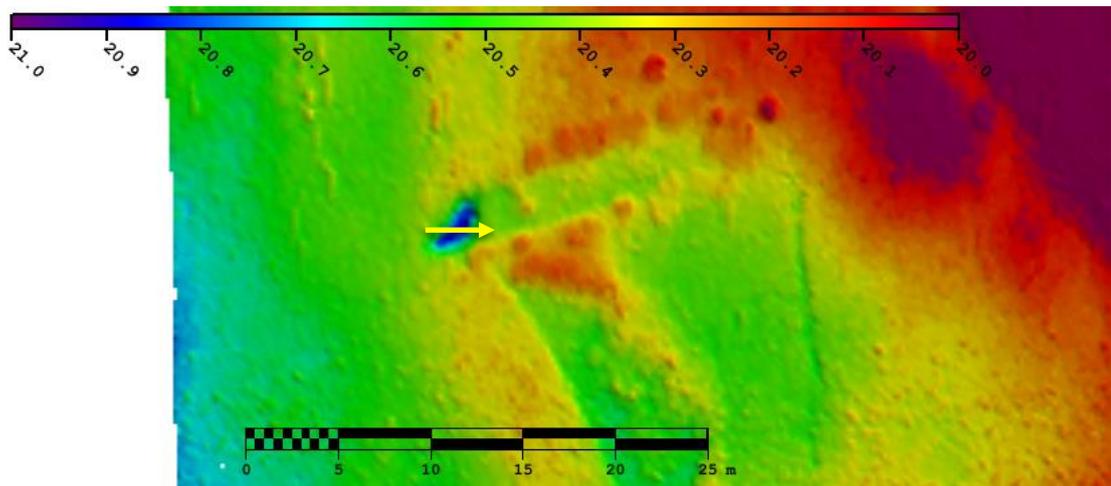
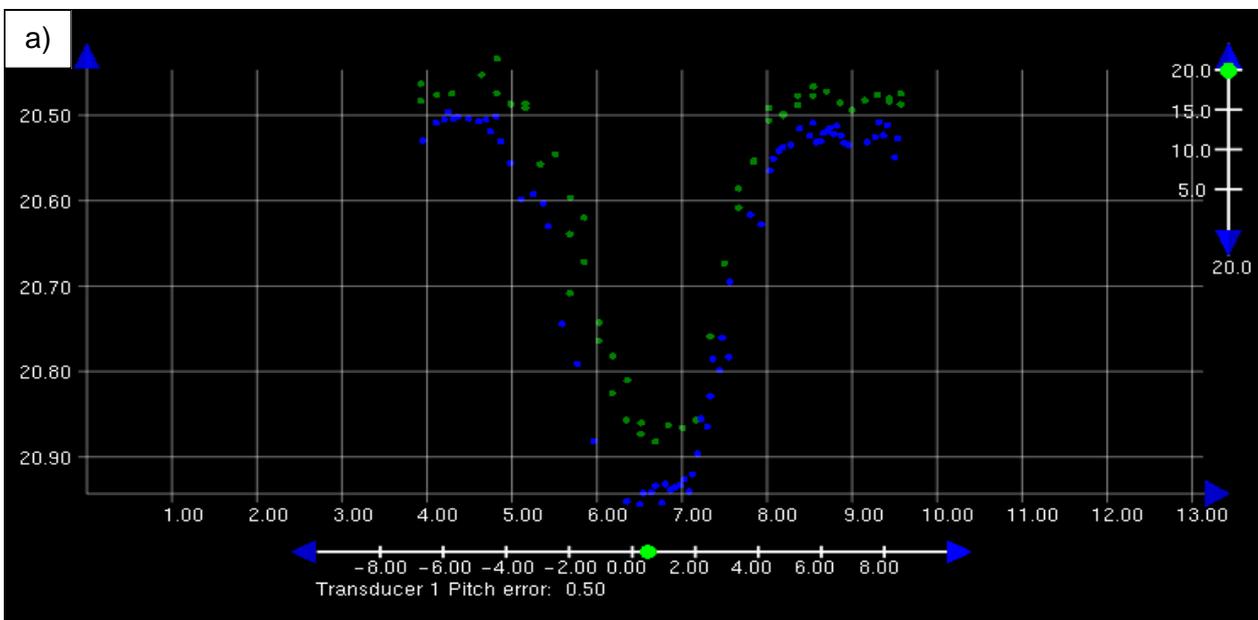


Figura 89 - Local, direção e sentido do perfil realizado para análise do comportamento do artefato com o aumento do desvio em pitch. A seta amarela representa o local onde foi realizado o slice da Figura 89 e Perfil da Figura 91.



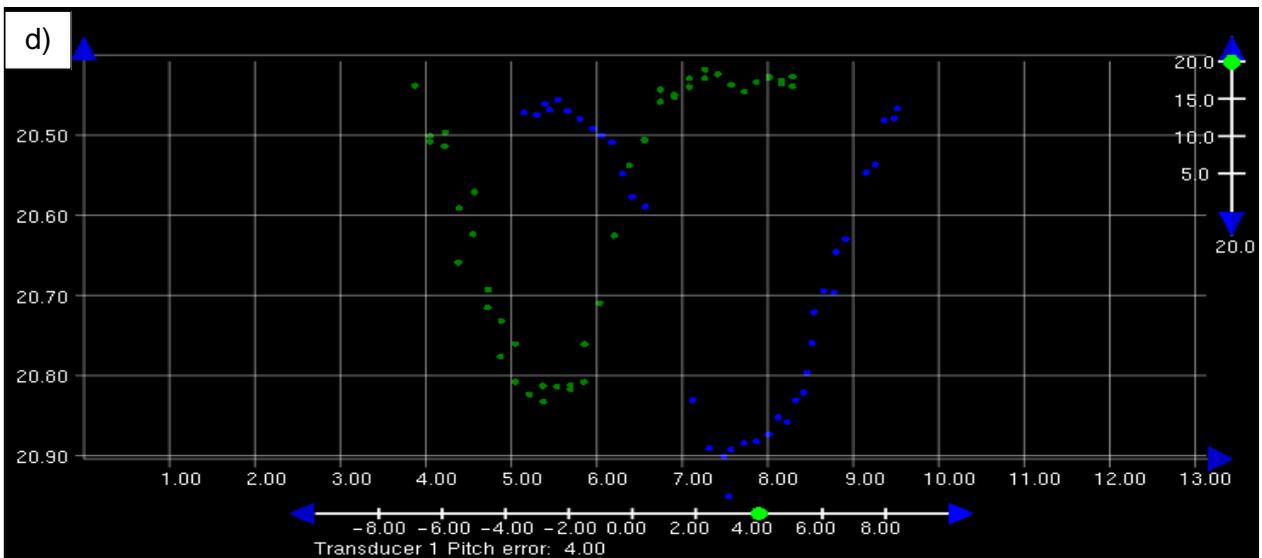
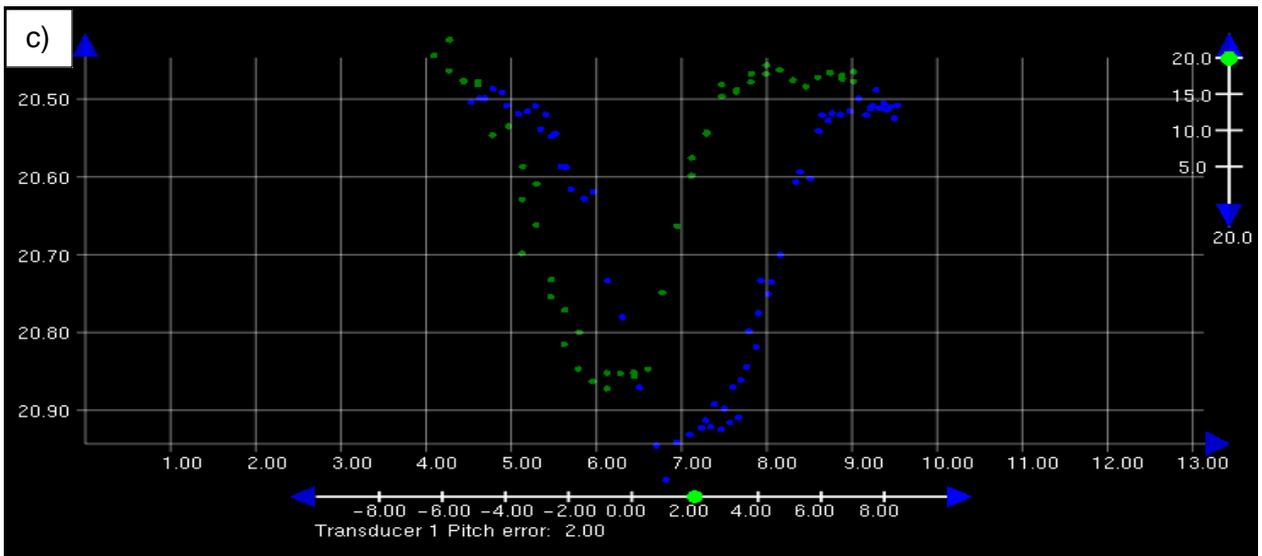
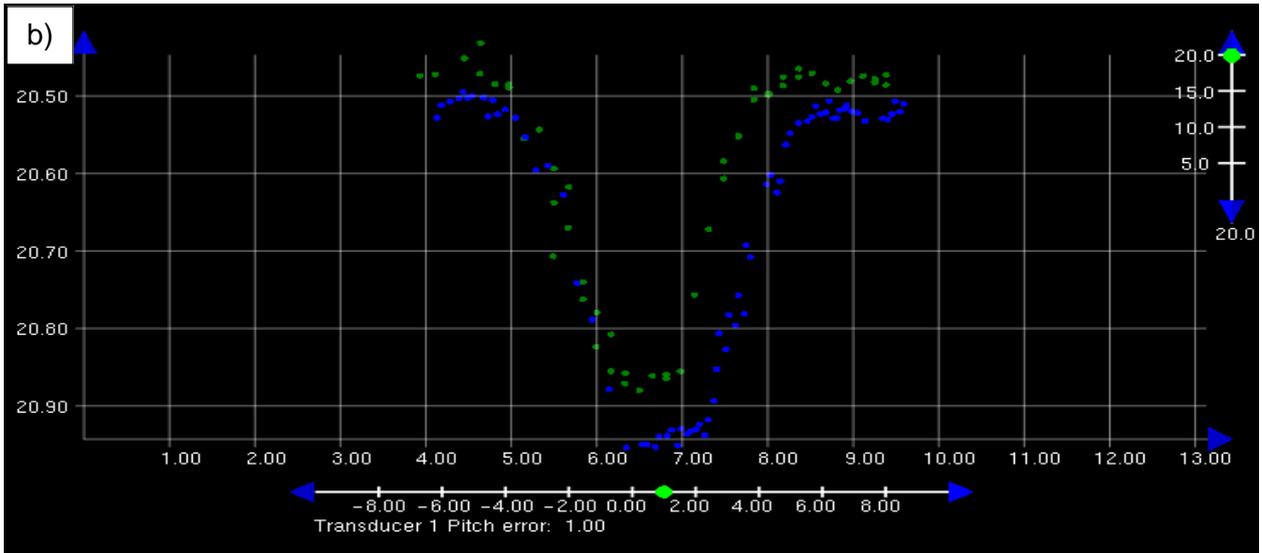


Figura 90 - Visualização das linhas 0 (azul) e 5 (verde) e dos efeitos gerados com o aumento da inclinação em pitch em uma estrutura localizada sobre os feixes externos de duas linhas reciprocas e paralelas com total cobertura do artefato. a) pitch calibrado (0.5°). b) Nível 1 = 1.0° . c) Nível 2 = 2.0° . d) Nível = 4.0° .

A evolução do deslocamento das linhas 0 e 5 no subset realizado na região 2 (Figura 89 e 90) evidencia esse processo enquanto o perfil da Figura 91 mostra bem as detecções das bordas do buraco se aproximando uma da outra.

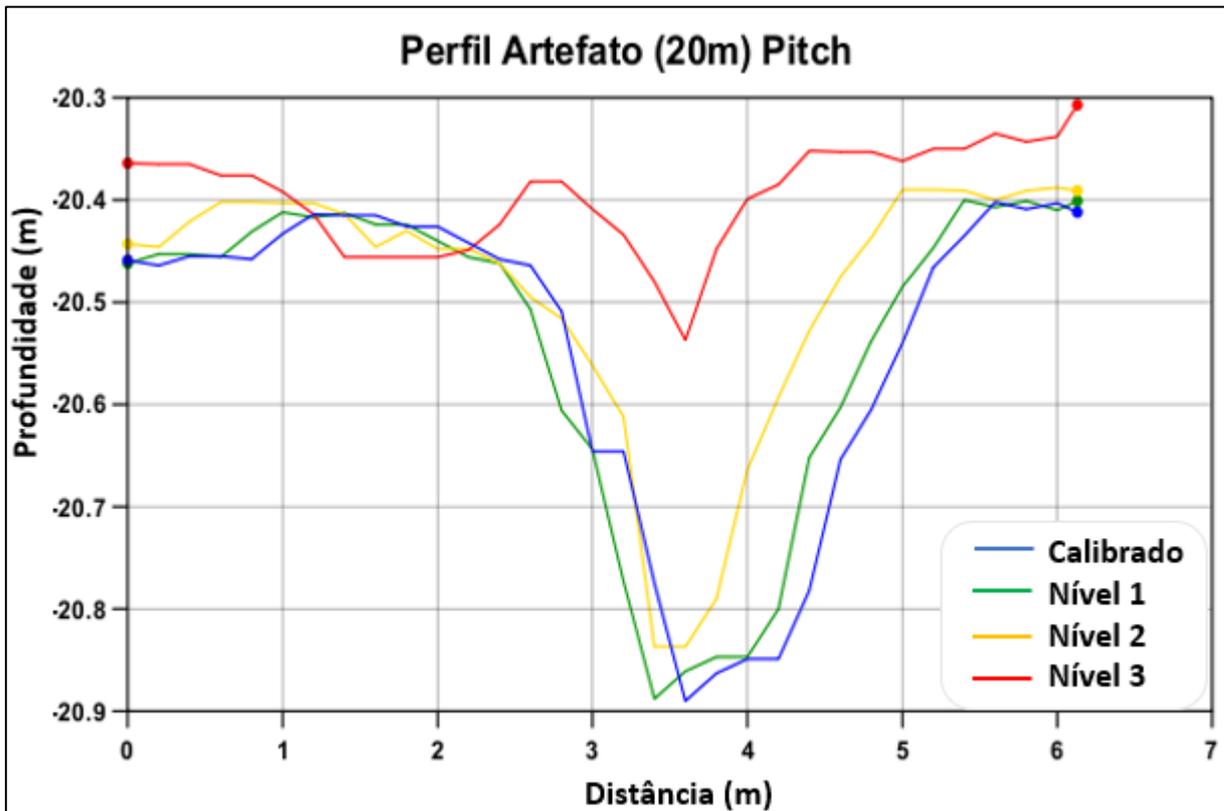


Figura 86 - Perfil realizado sobre os feixes externos do swath, ortogonal aos degraus e as linhas em cada superfície com o incremento da inclinação em pitch.

Foram geradas 3 superfícies diferença (Figura 92) e embora elas sejam semelhantes as superfícies diferença de Latência, elas mostraram maiores diferenças na região mais a oeste devido a sua sensibilidade em regiões mais profundas, onde a distância percorrida pelo feixe é maior, enquanto as de Latência mostraram alterações ao longo de toda a superfície.

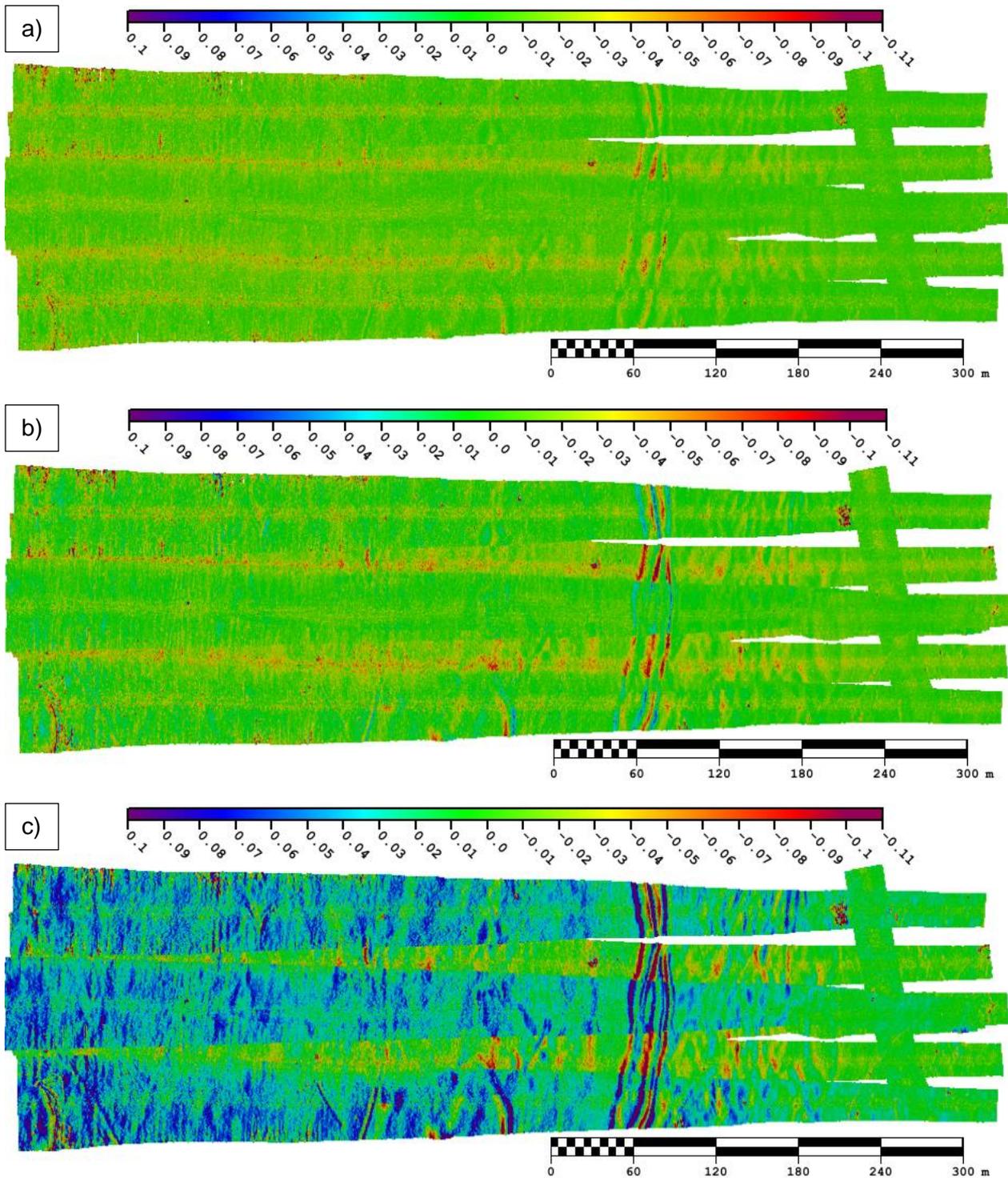


Figura 87 - Superfícies diferença entre a Superfície Calibrada e a Superfície Descalibrada em Pitch. a) Nível 1 = 1.0° b) Nível 2 = 2.0° , c) Nível 3 = 4.0°

O gráfico de densidade do resíduo de profundidade gerado pelas diferenças causadas pelos desvios de *pitch* (Figura 93) também apresentou similaridade com o gráfico referente a Latência. Esta similaridade evidencia que a mesma dependência da configuração azimutal das linhas que ocorreram na Latência ocorre com *pitch*.

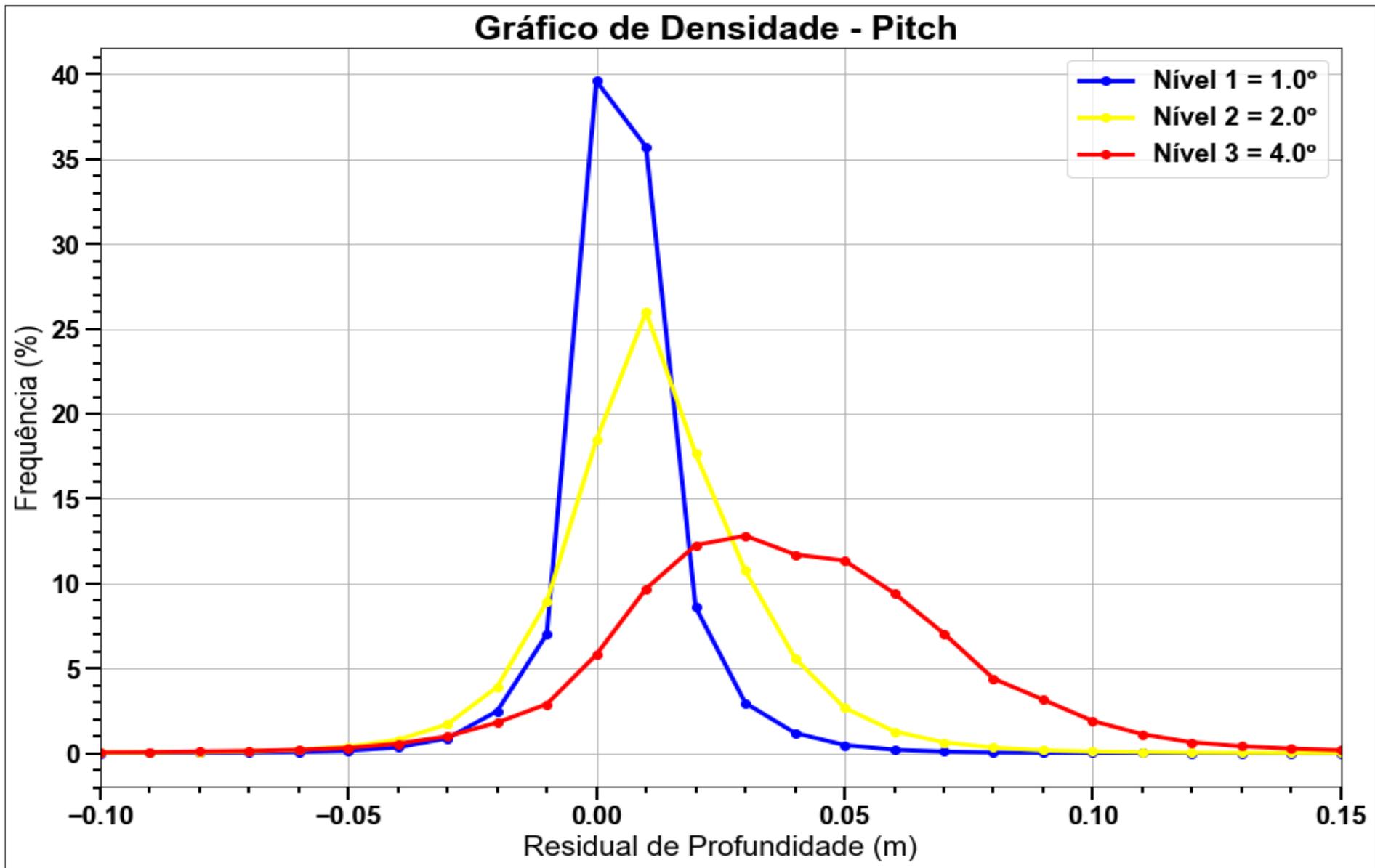


Figura 88 - Gráfico de Densidade do Resíduo de profundidade causado pelo incremento de pitch a cada nível;

6.0 CONCLUSÕES

A presença de erros de latência entre os sistemas causou deslocamentos horizontais na mesma direção que as linhas de aquisição, e se mostraram sensíveis mesmo em baixa intensidade (0.1 e 0.5 s) além de serem mais evidentes em locais com presença de morfologias bem definidas.

Os desvios inseridos em *roll* mostraram maior sensibilidade dentre os demais offsets (0.05 e 0.1 °), causando deslocamentos verticais em toda a superfície com potencial de ocorrência de gaps em zonas de baixa sobreposição. As alterações causadas pelo desvio neste offset se mostraram mais intensas nas regiões cobertas pelos feixes externos das linhas e a presença de morfologia no fundo foi pouco relevante em relação a esse offset.

Os erros causados pelos desvios inseridos em *pitch* se assemelharam bastante com os de latência, causando deslocamentos horizontais também na direção das linhas de aquisição. Contudo, no caso do *pitch* os efeitos foram mais evidentes sobre áreas com maior profundidade e feições bem definidas.

Já os desvios em *yaw* causaram deslocamentos horizontais nos feixes externos e as diferenças foram maiores apenas sobre estruturas bem definidas e com rugosidade.

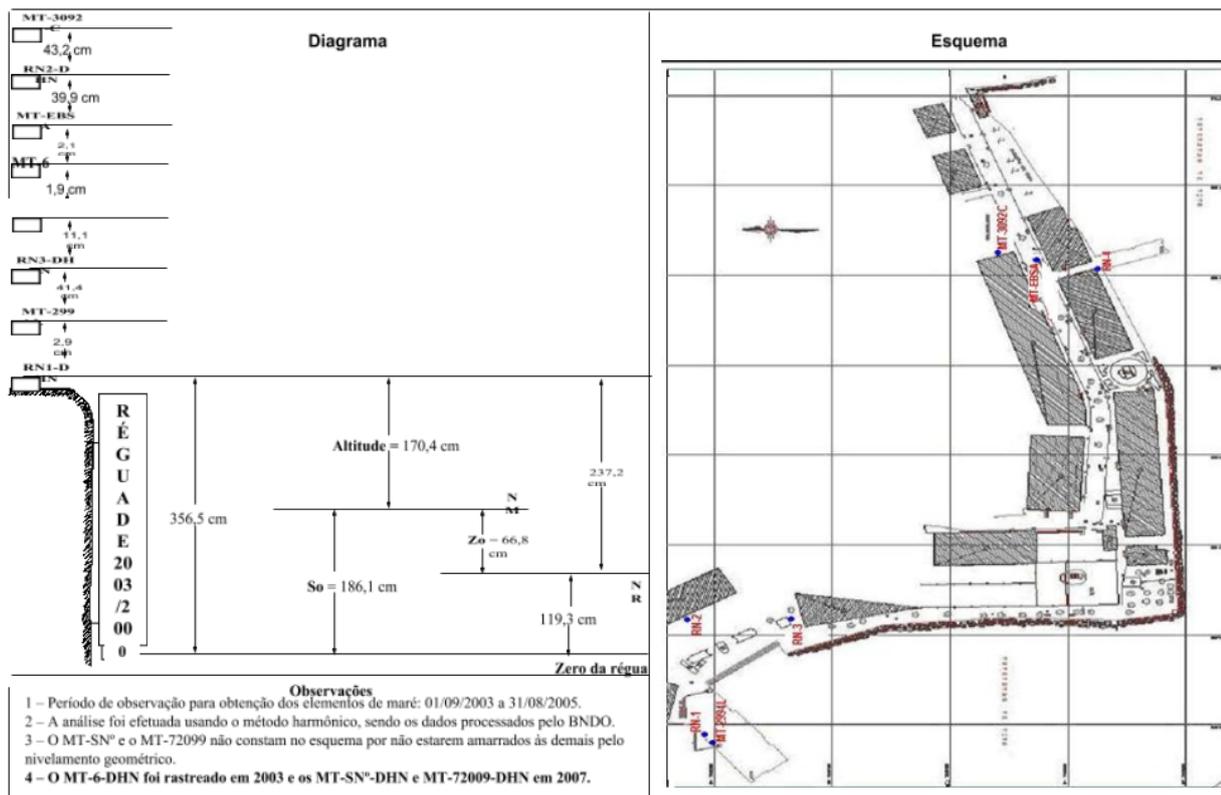
Dentre os offsets angulares e a latência, os efeitos causados por desvios em *pitch* e *yaw* foram os menos relevantes, tendo sido necessário, para a visualização de seus efeitos, a inserção de valores altos desconectados com os normalmente encontrados em campo (3.0 e 6.0° para *yaw* e 2.0 e 4.0° para *pitch*). Isto ocorreu principalmente devido a superfície possuir baixa profundidade, pois como foi mostrado nos resultados, estes offsets apresentaram maiores efeitos em regiões mais profundas.

A aplicação de um *patch test* sozinho não resolve todas as causas de alterações na superfície batimétrica, mas durante as análises foram encontradas alterações no mapeamento do fundo entre 2 a 5 cm mesmo para baixos desvios e atrasos. Neste âmbito o *patch test* serviu como um método crucial para evitar essas diferenças que quando somadas a diferenças geradas por outros agentes podem resultar no não cumprimento da precisão necessária num levantamento batimétrico e/ou no mascaramento de feições importantes do fundo marinho.

7.0 ANEXOS

7.1 ANEXO 1: DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA

		50141 F - 41	DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA	F-41 - Padrão - Ponta da Armação - 50141 - Versão 1/2010
				F-41 - 1515 - 001/03
Estação Ponta da Armação		Estado RJ		Localidade Niterói
LH	Carta N.º 1515 - Baía de Guanabara - Ilha do Mocanguê e Proximidades	Navio NOC ANTARES		Ano 2003
Coordenadas geográficas Lat 53° 0' S 22° Long 043° 08' 1 W Datum Fuso +3		O nível de redução está <u>119,3</u> centímetros acima do zero da régua de 2003/2005. Fonte de informação: Análise estatística e harmônica de 731 dias de observação de maré. Tipo de marégrafo: Hidrologia Diário - Esc: 1:20 Zero do marégrafo: coincide com o zero da régua.		
Descrição da régua de marés Régua de madeira com 3,80 m, fixada ao cais, junto ao abrigo do grafo. Os parafusos de fixação da régua estão na altura de 3,60m e 2,50m. Esta ficha foi compilada das F-41-1501-001/83, F-41-1501-001/88, 455 001/87 e F-41 455 002/87. Atualizada em 10/11/2010.		Descrição das referências de nível		
		Arquivo Técnico a ser preenchida no CHM Recebida em: Documento de referência: RA-167-03		Pessoal que tomou parte na montagem Equipe de 2003: CC Marco Antonio F. Rosa 3º SG-HN Eduardo - 3º SG-HN Kleber CB-HN Ahnert Chefe da equipe: Fernando A.G. Costa Equipe de 2007: CB-HN Davi CB-HN Erlon SC Venecslau FC Priscila (FEMAR) Chefe da equipe: SO-HN-ME Carlos



7.2 ANEXO 2: CADERNETA DE SONDAGEM

CADERNETA DE SONDAGEM									
LH: GS4R		Área: Patch Test		Data: 01/08/17		Embarcação: Lancha CEHILI		Página: 1/6	
Ecobatimetro: EM20		Posicionador: SEAPATH 300		Sensor de Movimento: MRU-5					
Sinal de Correção de Posição: DGNSS 3710 Fulgro									
Calibração*				Início		Fim			
Roll	Pitch	Yaw	Lattency	A) Linha de Referência - Linha D'água =		1,11 m		1,11 m	
xxx	xxx	xxx	xxx	B) Linha de Referência - MRU =		2,00 m		2,00 m	
				C) Water Line =		(-)0,89 m		(-)0,89 m	
				D) Leitura do ECO =		xxx		xxx	
				E) Leitura do Prumo de mão =		xxx		xxx	
				F) E - (A+D) =		xxx		xxx	
Oficial Encarregado da Sondagem:			CT Pimentel						
Equipe de Sondagem: CC Rodrigo Carvalho, CC (EN) Christopher, Prof. Arthur Ayres (UFF), James Baxter (KM), Evandro Alvarenga (KM), 1T (QC-CA) Dubeaux, 2SG-ET (RM1) Aguiar e 2SG-HN Wander.									
				Perfis de Velocidade do Som Utilizados					
				Nome do Arquivo		Linha Aplicada			
				GS4R_Test_08_01_17_1905Z		0			
				GS4R_Test_08_01_17_2053Z		8			
				xxx		xxx			
Hora Início (Z)	Hora Fim (Z)	Nome do Arquivo SIS	Rumo	Veloc	Mar	HDOP	Comentários		
1924	1931	0	83	4	1	0,8	Linha 2 do Patch Test		
1932	1938	1	277	4	1	0,8	Linha 3 do Patch Test (Utilizada para o MF)		
1941	1946	2	83	4	1	0,8	Linha 4 do Patch Test		
1950	1956	3	277	4	1	0,8	Linha 5 do Patch Test		
1958	2004	4	83	4	1	0,8	Linha 3 do Patch Test (Utilizada para o MF)		
2006	2012	5	277	4	1	0,8	Linha 1 do Patch Test		
2015	2025	6	83	2	1	0,8	Linha 3 do Patch Test (Utilizada para o MF)		
2029	2030	7	347	4	1	0,8	Linha perpendicular (utilizada para o MF)		
2034	2037	8	332	4	1	0,8	Linha mais ao N, no canal de acesso ao Porto de Niterói		
2041	2044	9	158	4	1	0,8	Linha mais ao N, no canal de acesso ao Porto de Niterói		
Nas duas linhas acima, foi observado que a velsom variou 2m/s em relação ao SVP									

8.0 REFERÊNCIAS

AINSLIE, M.A.. *The sonar equations: definitions, dimensions and units of individual terms*. Paris: Acoustics, 1526 p. 2008

ALMEIDA, M. S., Rui. Sistema Inteligente de Posicionamento Acústico Subaquático. 2010. 5-16 p. Tese de Mestrado (Tese de mestrado engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

AML. n.d. *Oceanographic, Sound Velocity Profiling Standard*. Available at [https://www.igp.de/manuals/Smart%20X%20User%20Manual%20\(v1.31\).pdf](https://www.igp.de/manuals/Smart%20X%20User%20Manual%20(v1.31).pdf). Last accessed 30 may 2018

BLONDEL, P. *BATHYMETRY AND ITS APPLICATIONS*. p. 1-30, Croatia: InTech, 2012

BREKHOVSKIKH, L.M ; LYSANOV, Yu.P. . *Fundamentals of Ocean Acoustics*. terceira. ed. Moscou, Russia: Springer, 2002

BRISSON, Lisa N.; WOLFE, Damon A. ; P.S.M, Matthew Staley. *Interferometric Swath Bathymetry for Large Scale Shallow Water Hydrographic Surveys*. *Canadian Hydrographic Conference*, [S.l.], p. 1-8, abr. 2014. Disponível em: <<http://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2014/06/EdgeTech-Paper-on-6205-presented-at-CHC2014.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

DA CONCEIÇÃO, FERNANDA VIANA. UTILIZAÇÃO DO BACKSCATTER DE SONARES MULTIFEIXE NA CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA DO FUNDO OCEÂNICO: UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO NA ENSEADA DE MARTEL, BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA.. 2009. 17 a 28 p. Monografia (Graduação em Geofísica)- Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

DHN, 2017. NORMAN-25 rev 2/DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação- Marinha do Brasil. Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos, ver.2 , 2017. Disponível: <https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAN-25-REV2.pdf> Acesso em : 2018

EIVA MARINE SURVEY SOLUTIONS *Patch test & stability check report*, Storebaelt, Disponível em <http://download.eiva.dk/online-training/Patch_test_report_III.pdf> 2009, Acesso em: 2018

ETTER, PAUL C. *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*: Quinta. ed. Londres e Nova York: Spon Press, 2018. 214 p.

FERREIRA, I.O., Coleta, processamento e análise de dados batimétricos visando a representação computacional do relevo submerso utilizando interpoladores determinísticos e probabilísticos. Dissertação de Mestrado. Universidade federal de Viçosa. 2013.

GAGG, Gilberto (Org.). APOSTILA DE LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS : NOÇÕES GERAIS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: [s.n.], 2016. 41 p. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/157210/001020445.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

GODIN. A. THE CALIBRATION OF SHALLOW WATER MULTIBEAM ECHO-SOUNDING SYSTEMS. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada. 1998

HOY SHANNON & KISSINGER KARMA, *Multibeamcalibration: conducting a patch test NOAA ShipOkeanos Explorer*, February 2010

HYPACK®. *HYDROGRAPHIC SURVEY SOFTWARE USER MANUAL* ,Disponível em: <http://www3.mbari.org/products/mbsystem/formatdoc/HYPACK/2011HYPACKUserManual.pdf> 2014, Acessado em 2018

IHO - *INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. HYDROGRAPHIC DICTIONARY S-325*º ed. Monaco p. 237 1994. Disponível em <https://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-32/S-32-eng.pdf>. Acesso em: 07 maio 2018

IHO - *INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. MANUAL DE HIDROGRAFIA: C13*. 1º. ed. Lisboa, Portugal: Instituto Hidrográfico, 2005. 115 a 174 p. Disponível em: <https://www.iho.int/iho_pubs/CB/C-13>. Acesso em: 07 maio 2018.

IHO - *INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION.NationalMaritime Policies andHydrographic Services M-2*Monaco, 2011. Disponível em: <https://www.iho.int/iho_pubs/misc/M-2_3.0.1_E_19OCT2011_TheneedforNHS.pdf>. Acesso em: 07 maio 2018.

KNIGHT, R.D. Uma Abordagem Estratégica - Vol 2, Bookman, p. 602, 2009

KONGSBERG GEOACOUSTICS LTD. *MultibeamSurveyswith a RIB: SeafloorMapping in Permafrost - HerschellIsland, YT, Canada*. 2014. Disponível em: <[https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/6275325DF3B5F10BC1257B0B004F3F29/\\$file/Application-GeoSwath-Plus-Compact-surveys-with-RIB.pdf?OpenElement](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/6275325DF3B5F10BC1257B0B004F3F29/$file/Application-GeoSwath-Plus-Compact-surveys-with-RIB.pdf?OpenElement)>. Acesso em: 05 maio 2018.

KUREGER, C. P. Levantamento Batimétrico no Rio Uruguai. XXI CBC, Belo Horizonte, MG , Brasil. 29/set a 03/out 2003.

KUNZIG, Robert, and Robert Kunzig. *MappingtheDeep: The ExtraordinaryStoryofOcean Science*. New York: Norton, 2000.

L3-Communications. *SEA BEAM 2100 MultibeamBathymetricSurveyMapping System, External Interface Specifications*. 2000

LOWRIE, William.*Fundamentals ofGeophysics*. Segunda. ed. SwissFederal InstituteOf Technology, Zürich: Cambridge, 130 a 140 p. 2004.

LURTON, Xavier.*AnIntroductiontoUnderwaterAcoustics: PrinciplesandApplications*. London: Praxis, 2002.

MATIAS, L. Como Funciona o Sonar: Medição da Velocidade do Som na Água. Centro de Geofísica ,Universiade de Lisboa. Portugal. 2010

MORI, M. Anderson. O uso de sistema inercial para apoiar a navegação autônoma. 2013. 32 p. Dissertação (Mestre em engenharia de transportes) - Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

NAKAO. H. T. L. Análise dos Métodos de Posicionamento e dos Parâmetros Definidores Da Qualidade do Levantamento Batimétrico Realizado No Reservatório De Capivari-Cachoeira. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2015

NAVY. P. *HORIZONTAL ACCURACY ISSUES DURING MBES SURVEYS. AnnualofNavigation*24/2017

Disponível em <<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/aon.2017.24.issue-1/aon-2017-0005/aon-2017-0005.xml>> 2017. Acessado em: 2018

OLIVEIRA, P. S. N. J., Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Acústico USBL e Validação com Testes de Mar.. Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa. 2009

PARNUM, Iain Michael. *Benthic Habitat Mapping using Multibeam Sonar Systems*. 2007. 18 p. Tese de Doutorado (Doctor of Philosophy)-Curtin University of Technology, Austrália, 2007.

PAULO. B.A.; HOLMES. C. E. Projeto de Sistemas Oceânicos II. Relatório II: Navio para Transporte de Automóveis. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011

PEREIRA. B. R. T. Aplicação da Batimetria Multifeixe para análise da morfologia do fundo marinho adjacente a praia de Ponta Negra- RN In: *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 13th., 2013, Rio de Janeiro: SBGF, 2013

FRANCOIS. R. E. AND GARRISON. G. R. "Sound absorption based on ocean measurements. Part I: Pure water and magnesium sulfate contributions," 1982

RAMOS, A. M. et. al. ANÁLISE DA ACURÁCIA HORIZONTAL DO POSICIONAMENTO DGPS DIFERENCIAL EMPREGADO EM LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS A PARTIR DE SISTEMAS DGPS, RTK E RTG . Simpósio Brasileiro de Geomática Universidade Federal Do Paraná. Curitiba , 2007

R2 Sonic *Multibeam Calibration: The Patch test*. R2Sonic LLC Multibeam Training Disponível em: <http://www.r2sonic.com/wp-content/uploads/2016/12/R2Sonic_ThePatchTest.pdf> 2009. Acessado em 2018.

SÁNCHEZ, J. A. C. Cartografia Submarina. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales; Universidad Politécnica de Madrid. Disponível em: <http://www.soy-jacs.com/buceo/buceo.htm> Acesso em: junho de 2010

SOUZA, Luiz Antonio Pereira De . Batimetria de alta resolução aplicada a estudos de reservatórios de água. In: *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 14th., 2015, Rio de Janeiro: SBGF, 2015. p. 1-3. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/301433042>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

TANG, QIU-HUA et al. *Processing Multibeam Backscatter Data*. Marine Geodesy, China, 29 maio 2018, p. 252. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01490410500204595>>. Acesso em: 29 maio 2018.

VALLEJO, R. Posicionamento com GNSS em cenário de Multi-constelação. Universidade de Lisboa, 2014