



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

**VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE
ÁREAS DA UNIÃO NO MUNICÍPIO DE RIO TINTO, PARAÍBA**

RELATÓRIO FINAL

João Pessoa – Paraíba

EQUIPE TÉCNICA

Coordenador:

Guttemberg da Silva Silvino, PhD

Vice-Coordenador:

Eduardo Rodrigues Viana de Lima, PhD

Pesquisadores:

Cristiano das Neves Almeida (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia-UFPB), PhD

Davi de Carvalho Diniz Melo (Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias-UFPB), PhD

Técnicos especialistas:

Jessé Pedro Gomes Júnior (Técnico em Topografia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Centro de Tecnologia-UFPB)

Leonardo Bruno Ramos dos Santos (Contador, Apoio e Suporte Administrativo-UFPB)

Leonardo Figueiredo de Meneses (Departamento de Engenharia e Meio Ambiente-UFPB)

Luiz Gonzaga Guimarães (Geógrafo/Topógrafo)

Utaiguara da Nóbrega Borges (Geógrafo)

Bolsistas Discentes:

Alyne Siqueira Bento (graduanda em Engenharia Ambiental, Centro de Tecnologia-UFPB)

Gabriel Monteiro Duarte (graduando em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia-UFPB)

Haile Silvino Guimarães (graduando em Engenharia Agrônômica, Centro de Ciências Agrárias-UFPB)

Hemilly Millena Pereira Rodrigues (graduanda em Ecologia, Centro de Ciências Aplicadas e Educação-UFPB)

Henrique Medeiros de Souza (graduando em Engenharia Agrônômica, Centro de Ciências Agrárias-UFPB)

José Fidelis dos Santos Neto (graduando em Engenharia Agrônômica, Centro de Ciências Agrárias-UFPB)

Luis Moacy Martins Junior (graduando em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia-UFPB)

Misael Mendes Soares (graduando em Engenharia Agrônômica, Centro de Ciências Agrárias-UFPB)

Tiago Gonzaga Gomes (graduando em Ciência da Computação, Centro de Informática-UFPB)

Yuri de Barros Alves Pontes (graduando em Ecologia, Centro de Ciências Aplicadas e Educação-UFPB)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	9
Figura 2 - Precipitação pluviométrica da área de estudo. Fonte: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/	10
Figura 3 – Parte da Carta Guarabira elaborada na escala de 1:250.000. Fonte: SUDENE (1976).....	12
Figura 4 - Parte da Carta Guarabira elaborada na escala de 1:100.000. Fonte: SUDENE (1988).....	13
Figura 5 - Parte da Carta Rio Tinto elaborada na escala de 1:25.000. Fonte: SUDENE (1972).	14
Figura 6 – Detalhe do Canal (Rio da Draga). Fonte: Google Earth.	15
Figura 7 - Distribuição dos pontos de monitoramento inicialmente planejados.	24
Figura 8 - Distribuição dos pontos de monitoramento onde há influência de maré.....	25
Figura 9 - Equipamentos utilizados no monitoramento da coluna da água e altura da água nos rios e riachos.....	28
Figura 10 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Porto (Data de medição: 21/Mar/2019).....	30
Figura 11 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver na Ponte do Veloso (Data de medição: 21/Mar/2019).....	30
Figura 12 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver na Cerâmica (Data de medição: 21/Mar/2019).....	31
Figura 13 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Rio do Gelo (Data de medição: 21/Mar/2019).....	31
Figura 14 - Dados de altura da água no Porto de Cabedelo e no Porto dos pescadores em Rio Tinto para o período de 21 a 22 de março de 2019.	32
Figura 15 – Tempo de retardo estimado com base na correlação cruzada entre os dados do marégrafo do Porto de Cabedelo e as medições realizadas em Rio Tinto.	33
Figura 16 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Porto (Data de medição: 26 e 27 de dezembro de 2019).....	34
Figura 17 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Ponte do Veloso (Data de medição: 26 e 27 de dezembro de 2019).....	34
Figura 18 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Rio do Gelo (Data de medição: 26 e 27 de dezembro de 2019).	35
Figura 19 - Correlação e equação de regressão entre as alturas d'água do marégrafo de Cabedelo e cota d'água no rio Mamanguape em Rio Tinto (seção de referência: Porto dos pescadores).....	40
Figura 20 - Nivelamento Geométrico pelo Método das Visadas Equidistantes.	48
Figura 21 – Nível óptico (esquerda) e régua graduada (direita).	48
Figura 22 - Localização do RN 2466L (Porta da Delegacia de Rio Tinto). Fonte: IBGE.	50
Figura 23 – Descritivo da Estação Geodésica RN: 2466L. Fonte: IBGE.....	50
Figura 24 – Localização das Referências de Nível (RN) utilizadas.	51
Figura 25 – Classes de Nivelamento conforme NBR 13.333/94.	52
Figura 26 – Representação do Geoide, Elipsoide e Superfície Terrestre.	53
Figura 27 – Controle de qualidade (Precisão Horizontal e Vertical).	55
Figura 28 – GPS Trimble modelo R4 L1/L2 + RTK coletando dados.....	56
Figura 29 – Descritivo da Estação PBCG – Campina Grande.....	57
Figura 30 – Descritivo da Estação RNNA – Natal.....	58

Figura 31 – Triangulação do processamento e ajustamento da linha de base a partir do software TBC.....	59
Figura 32 – Resumo do Relatório de Processamento da Linha de Base – RN IFPB - 2466LE.	59
Figura 33 – Mapa de Localização dos pontos de controle.....	61
Figura 34 – Localização dos pontos coletados para geração do MDT.....	62
Figura 35 – VANT utilizado nas coletas de imagem aéreas: DJI Phantom 4 PRO.	64
Figura 36 - Faixas de voo planejados.	65
Figura 37 – Exemplo das imagens áreas coletadas.	67
Figura 38 - Exemplo de materialização de pontos de controle utilizados no processamento. .	68
Figura 39 - MDS resultante do processamento aerofotogramétrico.....	69
Figura 40 - Ortoimagem resultante do processamento aerofotogramétrico.	70
Figura 41 - Ilustração mostrando a diferença entre o MDS e o MDT.....	70
Figura 42 - MDT resultante do processamento aerofotogramétrico.	71
Figura 43 - LPM resultante do processamento aerofotogramétrico.	72

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Informações sobre as campanhas de monitoramento.....	21
Quadro 2 – Informações de localização dos pontos de monitoramento da altura da água.	21
Quadro 3 – Data de instalação dos Baro-Divers e CTD-Divers instalados no campo de março de 2019.....	29
Quadro 4 - Dados calculados a partir da maré de 21 de março de 2019 (Referência utilizada: Porto de Cabedelo).....	32
Quadro 5 - Dados calculados a partir da maré de 26 e 27 de dezembro de 2019 (Referência utilizada: Porto de Cabedelo).	35
Quadro 6 - Distância do ponto com oscilação = 5 cm em relação ao ponto de jusante	38
Quadro 7 – Características dos voos realizados.	66
Tabela 1 – Níveis observados e estimados pela regressão no mês de dezembro.	36
Tabela 2 - Cotas máximas e oscilações nos pontos de monitoramento.....	37
Tabela 3 - Declividade mensal das oscilações	38
Tabela 4 - Declividade mensal entre as alturas máximas	38
Tabela 5 - Cotas máximas correspondentes à Linha de Preamar Média (LPM) de 2019.	39
Tabela 6 – Validação das cotas máximas e oscilações nos pontos de monitoramento.	41
Tabela 7 – Validação da distância do ponto com oscilação igual a 5 cm em relação ao ponto de jusante (2019 e 2020).	41
Tabela 8 – Validação das cotas máximas (2019 e 2020).....	42
Tabela 9 - Cotas máximas e oscilações estimadas nos pontos de monitoramento (1831).	43
Tabela 10 - Distância do ponto com oscilação igual a 5 cm em relação ao ponto de jusante (1831).....	44
Tabela 11 - Cotas correspondentes à altura máxima da água (1831).....	44
Tabela 12 – Validação dos pontos de apoio (RN) para o monitoramento.....	52
Tabela 13 – Precisão das Coordenadas Geodésicas e Altitudes Ortométrica (método RTK). .	54
Tabela 14 – Variação das altitudes obtidas pelo Nivelamento Geométrico e GNSS RTK.	55
Tabela 15 – Coordenadas Geodésicas e Altitudes Ortométricas.	60

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE QUADROS E TABELAS	6
CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO	8
CAPÍTULO 2 – CÁLCULO DA COTA BÁSICA PARA GERAÇÃO DA LPM.....	16
CAPÍTULO 3 – PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES	46
CAPÍTULO 4 – LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO.....	63

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO

1.1 – Introdução

Este relatório final apresenta os trabalhos realizados e os resultados obtidos durante as campanhas de monitoramento da altura da água dos rios da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape que margeiam a sede do município de Rio Tinto/Paraíba. As atividades foram desenvolvidas no período de fevereiro de 2019 a fevereiro de 2020. As referidas atividades trataram das medições da altura d'água, para determinação do(s) ponto(s) que sofrem influência da maré com o objetivo último de determinar a cota básica para geração da LPM (Linha de Preamar Média).

As atividades realizadas neste projeto foram guiadas pela Orientação Normativa ON-GEADE-002/2001, a qual estabelece, com base no Decreto-Lei nº 9.760 de 5 de setembro de 1946, que a demarcação dos terrenos de marinha e seus acrescidos é feita com base na posição da Linha de Preamar Média (LPM) de 1831.

Assim, um dos objetivos principais almejados foi estimar a LPM de 1831 a partir da determinação da LPM dos últimos 12 (doze) meses. Entretanto, conforme exposto ao longo deste relatório, a determinação da LPM de 1831 para o caso particular das áreas marginais à cidade de Rio Tinto não é trivial e, apesar dos cuidados metodológicos adotados, apresenta incertezas em razão das alterações antrópicas detectadas *in loco*.

1.2 – Área de Estudo

A área de estudo de que o presente relatório trata é o município de Rio Tinto, situado no Litoral Norte do Estado da Paraíba. Mais especificamente, a pesquisa abrange tributários do Rio Mamanguape que se localizam ao sul e a leste da área urbana da sede do referido município. A área de estudo encontra-se entre as longitudes 35° 3' 34,25" O e 35° 4' 56,61" O e as latitudes 6° 48' 3,91" S e 6° 49' 19,94" S, e, em linha reta, está a aproximadamente 45 km de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba (Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. **Figura 1 Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

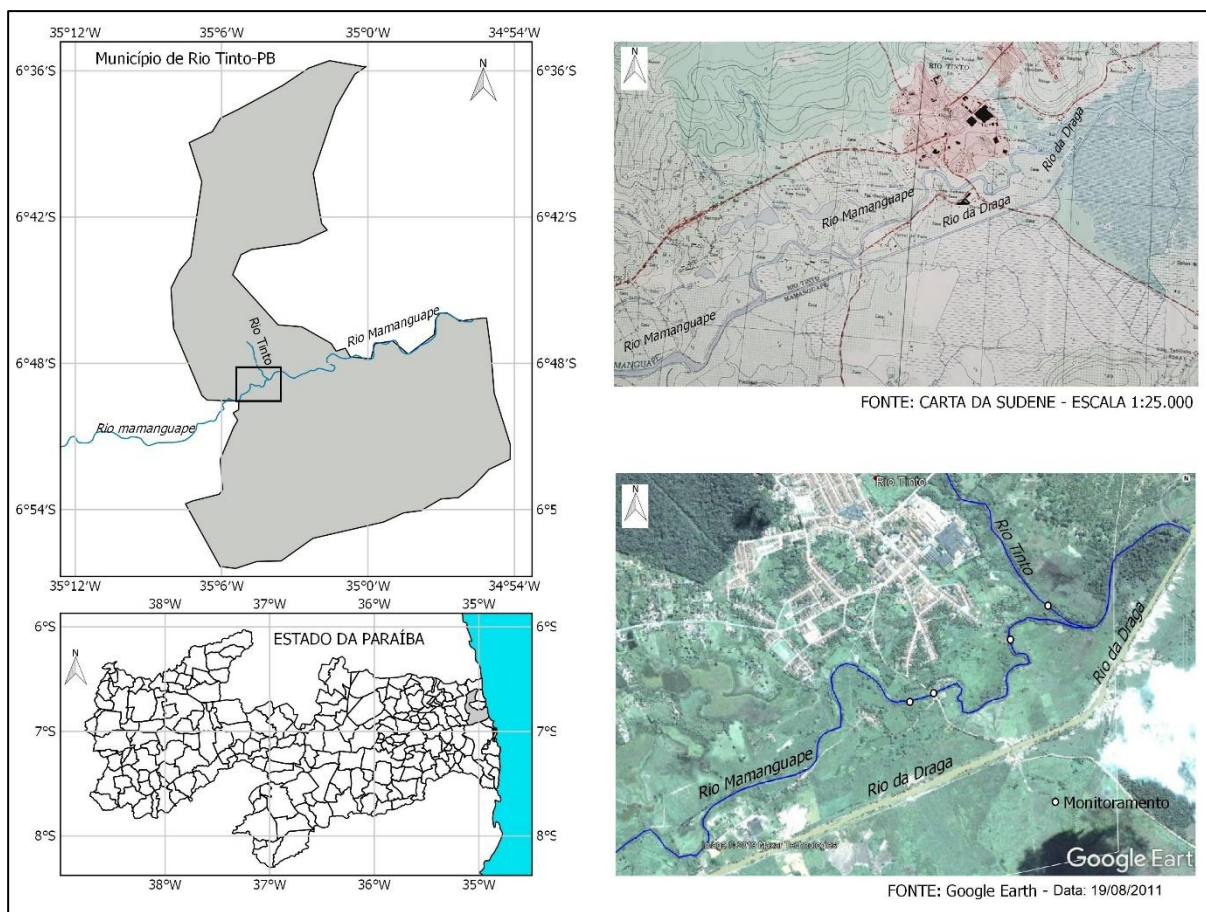


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Paralelamente ao leito original do Rio Mamanguape, escoa o atual curso principal desse rio, localmente denominado de Rio da Draga. Trata-se de um canal retilíneo que passa ao sul de Rio Tinto, com uma extensão de aproximadamente 5 km. O canal tem uma largura média que varia de 35 a 40 metros.

Uma característica importante da área de estudo é seu regime pluviométrico, pois influencia diretamente no monitoramento da altura da água nos rios e riachos. Para caracterização dessa variável foram utilizados os dados históricos de 56 anos, período de 1962 a 2017, da cidade de Mamanguape, visto que o pluviômetro da cidade de Rio Tinto não tem uma série histórica com mais de 30 anos. Assim, a precipitação anual média é de 1.374 mm, com sua quadra chuvosa compreendida entre os meses de abril a julho, conforme apresentado na Figura 2, que apresenta o regime pluviométrico do ano de 2019. Esses quatro meses concentram quase 60% da precipitação anual.

Na Figura 2 foram plotados os valores de precipitação monitorados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs), tanto no município de Mamanguape como no de Rio Tinto. Os dados monitorados nessas duas cidades foram

plotados para verificação da coerência dos valores, uma vez que as cidades distam entre si aproximadamente 7 km.

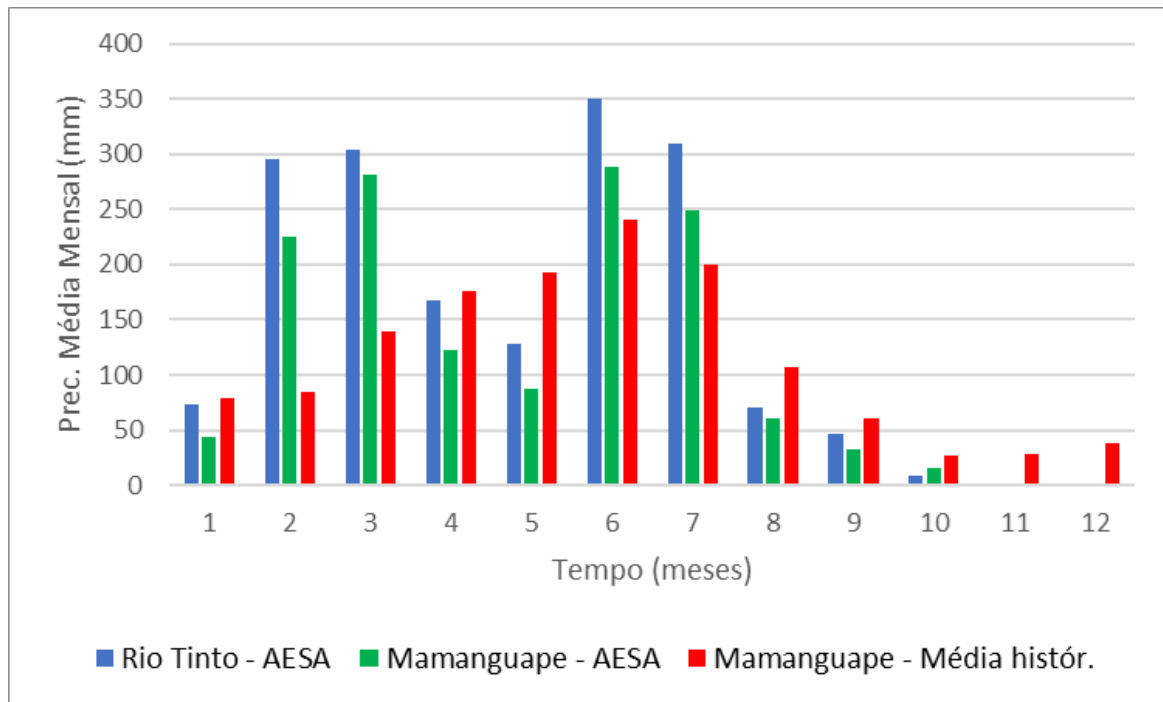


Figura 2 - Precipitação pluviométrica da área de estudo. Fonte: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>.

1.3 – Acervo Cartográfico Pré-Existente

De acordo com o item 4.3 da ON GEAD-002/2001, nas atividades de caracterização da LPM, deve-se realizar pesquisas em documentos antigos, levando-se em consideração:

- i) Autenticidade dos Documentos;
- ii) Documentos Cartográficos Antigos;
- iii) Fotos, Gravuras e Pinturas;
- iv) Fotos Aéreas;
- v) Material Impresso;
- vi) Fontes de Pesquisas e
- vii) Depoimentos.

Em entrevistas realizadas *in loco* com moradores, pescadores, presidente de associação, comunidade indígena, dentre outros, sobre o curso original do Rio Mamanguape,

todos afirmaram que o referido rio teve seu curso natural desviado na década de 1910, quando foi construído um canal de aproximadamente 5 km de extensão por 35 m de largura, para fins de melhorar a navegação que era comum naquela época.

Foram realizadas pesquisas de documentos cartográficos e de fotografias aéreas em mapotecas, bibliotecas, cartórios, entre outros locais, mas não foi possível encontrar nada referente à época da construção do canal, visto que não havia tecnologia suficiente naquele momento que possibilitasse a elaboração de tais documentos.

Os documentos cartográficos mais antigos encontrados e que serão aqui apresentados, foram elaborados a partir do final da década de 1960, portanto muito tempo depois da construção do canal.

Em pesquisa realizada na mapoteca da SUDENE foram encontradas cartas em diferentes escalas, as quais mostram o curso natural do Rio Mamanguape, bem como o detalhe do canal construído, desviando o curso natural do rio. Os materiais cartográficos identificados foram elaborados pelo Projeto RADAMBRASIL, pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e pela Terceira Divisão de Levantamento da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (3ª DSG), nas escalas 1:250.000, 1:100.000 e 1:25.000 e estão descritos a seguir.

- Carta Guarabira - Escala 1:250.000

Observa-se que essa carta não possui muitos detalhes devido a escala e pode-se verificar que o curso natural do Rio Mamanguape não está adequadamente representado (Figura 3). O que é possível observar nitidamente é o canal que foi construído e que tem uma configuração retilínea.

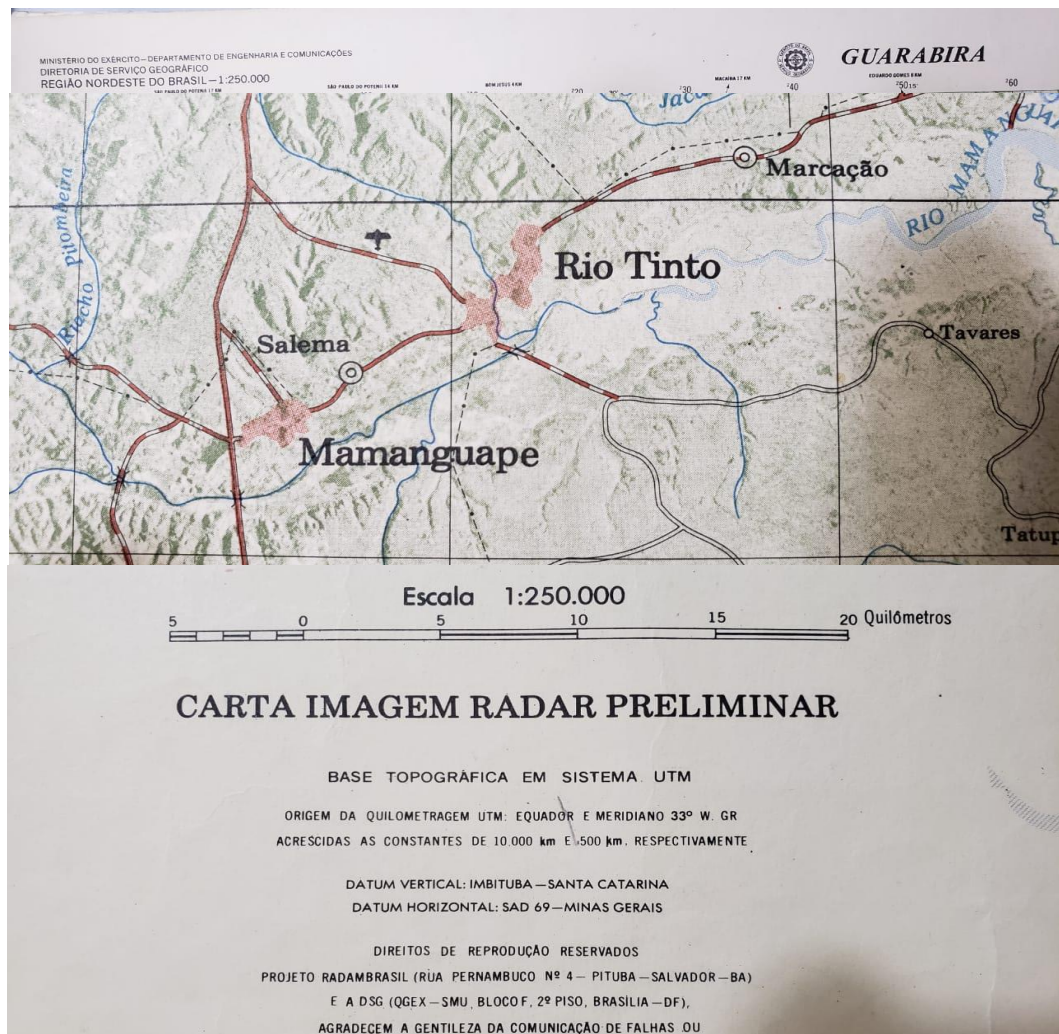


Figura 3 – Parte da Carta Guarabira elaborada na escala de 1:250.000. Fonte: SUDENE (1976).

- Carta Guarabira - Escala 1:100.000

Nessa carta observa-se o Rio Mamanguape representado pelo seu curso original e o canal representado por um trecho retilíneo (Figura 4).

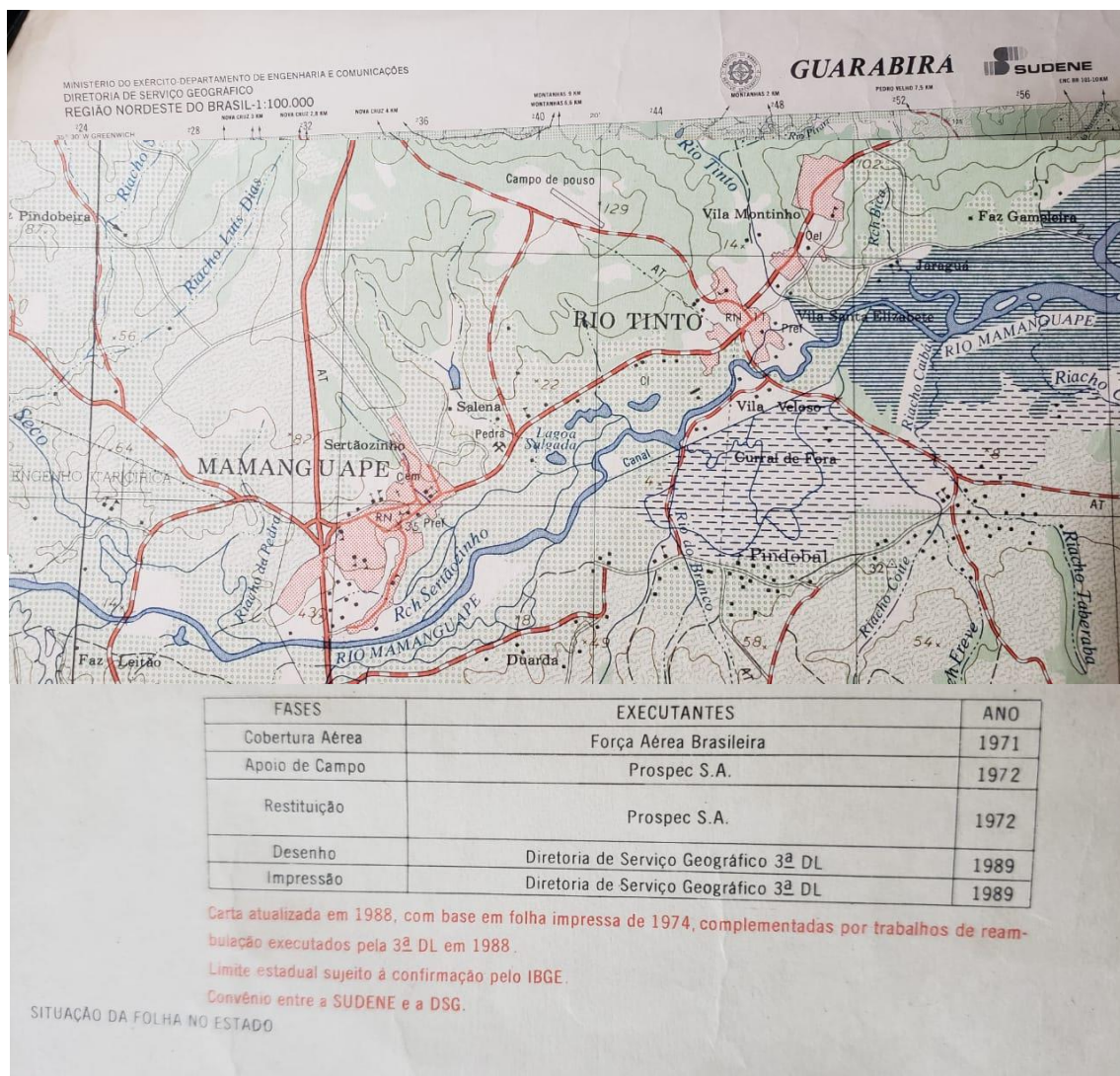


Figura 4 - Parte da Carta Guarabira elaborada na escala de 1:100.000. Fonte: SUDENE (1988).

- Carta Rio Tinto - Escala 1:25.000

Nesse produto observa-se com mais detalhes o Rio Mamanguape representado pelo seu curso original e em destaque o canal, nessa escala identificado como Rio da Draga (Figura 5).

De acordo com informações obtidas por relatos de moradores e pescadores, o referido “Canal” ou Rio da Draga foi construído na década de 1910. O trecho do Rio Mamanguape que foi desviado pelo “canal”, hoje é conhecido como rio seco e que em certo trecho não recebe mais influência da maré, sendo esse o principal curso d’água alvo deste trabalho.

Paralelamente ao leito original do Rio Mamanguape, escoo o atual curso principal desse rio. Trata-se de um canal (Rio da Draga) retilíneo que passa ao sul de Rio Tinto, com uma extensão de aproximadamente 5 km e largura média de 35 metros.

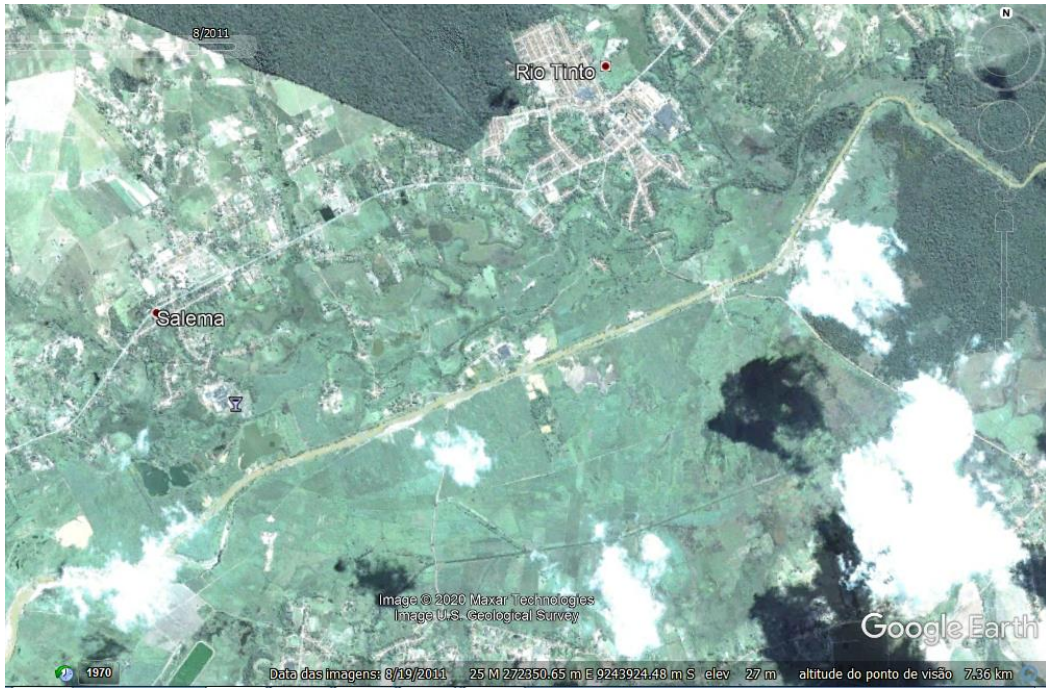


Figura 6 – Detalhe do Canal (Rio da Draga). Fonte: Google Earth.

CAPÍTULO 2 – CÁLCULO DA COTA BÁSICA PARA GERAÇÃO DA LPM

2.1– Introdução

Este capítulo apresenta as atividades e resultados referentes à Meta 1, constante do Plano de Trabalho SPU-UFPB (SEI/MP - 7568962), cujo objetivo específico é o de obter a altitude (cota básica), até onde existe influência da maré na área sob estudo.

O monitoramento da altura da água dos rios da cidade de Rio Tinto foi realizado em campanhas mensais distribuídas entre os meses de fevereiro de 2019 a fevereiro de 2020. As referidas campanhas trataram das medições da altura d'água, para determinação do(s) ponto(s) que sofrem influência da maré com o objetivo último de determinar a cota básica para geração da Linha de Preamar Média (LPM).

Tendo em vista o objetivo de determinar a cota básica para geração da Linha de Preamar Média (LPM), foram definidos diversos pontos de monitoramento ao longo do Rio do Gelo e do leito original do Rio Mamanguape, conforme indicado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** As coordenadas desses pontos são apresentadas na seção 2.3 deste relatório.

2.2- Considerações Iniciais

A informação fundamental para se obter a cota básica é a localização dos terrenos até onde há influência das marés. Do ponto de vista hidráulico, a influência das marés sobre o nível de água nos rios decorre do avanço de uma onda de remanso de jusante para montante. Esse avanço no sentido mar-continente varia em função do nível de água no mar. Portanto, o limite até onde se percebe a influência da maré nos rios é variável, sendo o máximo durante a preamar superior.

O texto da ON-GEADE-002/2001 não é totalmente claro no tocante a certos aspectos do cálculo da cota básica em terrenos que margeiam rios que sofrem influência da maré. Algumas inferências feitas com base nessa ON serão detalhadas a seguir para que não haja espaço para subjetividade quanto ao procedimento metodológico adotado neste trabalho.

Após uma leitura cuidadosa da ON-GEADE-002/2001, inferiu-se que as orientações dos itens 4.8 e 4.10 (apresentados integralmente abaixo) são complementares para localidades não costeiras.

“4.8 Determinação da Cota Básica

4.8.1 A cota da preamar média deve ser calculada utilizando-se os dados da estação maregráfica mais próxima constante das Tábuas de Marés, publicadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Comando da Marinha (DHN).

4.8.2 A cota da preamar média é a média aritmética das máximas marés mensais, ocorrida no ano de 1831 ou no ano que mais se aproxime de 1831.

4.8.3 A cota básica é obtida da cota de preamar média, reduzindo-a a mesma origem altimétrica do levantamento cartográfico (Datum Vertical).

4.8.4 Para o cálculo de redução das cotas devem ser utilizados os dados das RRNN de controle do marégrafo constantes na ficha maregráfica fornecida pela DHN, referente à estação utilizada.

4.8.5 Para o cálculo da redução das cotas, as RRNN do marégrafo, devem estar referenciadas à rede fundamental.

4.8.6 A equivalência entre as referências altimétricas do IBGE, DHN, Portobrás e outras porventura utilizadas deve ser representada graficamente (conforme modelo de Diagrama de Equivalência – ANEXO VII).

4.8.7 Na inviabilidade de transporte de altitudes do IBGE, admitir-se-á adoção de datum vertical local.

4.8.8 Em locais abrigados, sem a influência da dinâmica das ondas, o valor da cota básica efetiva é o mesmo da cota básica.

4.8.9 Em locais onde, por ação da dinâmica das ondas, as águas atingirem nível superior ao da cota básica, adotar-se-á esse nível como quantificador da cota básica efetiva.

4.8.10 A ação da dinâmica das ondas, deve ser determinada por observações de preamares cuja amplitude mais se aproxime do valor da máxima maré mensal, excluindo-se a influência de outros fatores que não sejam os gravitacionais.

4.8.11 Na constatação da existência de acrescidos naturais ou artificiais (aterros) ocorridos após 1831, toma-se como linha básica para a demarcação da LPM a linha que coincidir com o alcance das ondas na maior maré mensal atual, feita a abstração dos referidos acrescidos.

4.8.12 Na constatação da existência de avanço dos mares ocorrido após 1831, tomar-se-á como linha básica para a demarcação da LPM a linha que coincidir com o batente das ondas, abstraindo-se os referidos avanços.”

“4.10 Medição da Oscilação das Águas dos Rios e dos Lagos, por Influência da Maré.

4.10.1 Os trabalhos de medição devem ser efetuados nos cursos d'água ou lagos, nos períodos das maiores marés mensais, fora do período das enchentes fluviais.

4.10.2 A oscilação de 5cm é medida no momento em que se faça sentir, no nível das águas dos rios ou lagoas, a influência da preamar superior, tomando-se como ponto origem o nível das águas no momento em que se faça sentir a influência da baixamar inferior.

4.10.3 Identificado o ponto no terreno, o mesmo deve ser lançado na base cartográfica.

4.10.4 A altura da água dos rios e lagoas deve ser medida com auxílio de marégrafos ou réguas graduadas na casa do centímetro.

4.10.5 O registro das leituras deve ser efetuado até a casa dos milímetros, sendo estes interpolados visualmente.

4.10.6 Nos registros, devem constar a hora e minutos da observação do nível da água em relação à graduação da régua.

4.10.7 Os registros dos valores lidos nas réguas, devem constar no relatório a ser apresentado em forma de gráfico cartesiano, em que as abscissas representem as horas das observações e as ordenadas as alturas das águas (ANEXO VIII).

4.10.8 Em cada medição devem ser utilizadas 3 (três) réguas, fixadas inicialmente nos seguintes locais:

4.10.8.1 À jusante, em local onde por observação visual ou informações, a oscilação do nível da água do rio ou lagoa seja certamente superior à 5cm;

4.10.8.2 À montante, em local onde por observação visual ou informações, a oscilação do nível da água do rio ou lagoa aproxime-se de 5cm;

4.10.8.3 No ponto médio entre as réguas extremas.

4.10.9 As medições devem estar orientadas segundo as previsões das preamares e baixa-mares da estação maregráfica mais próxima, constantes nas tábuas das marés.

4.10.10 As réguas devem ser instaladas em locais abrigados, de forma a minimizar, nas leituras, influências das oscilações das águas, ocasionadas por fatores naturais ou artificiais.

4.10.11 As medições devem ser iniciadas com pelo menos dois dias de antecedência em relação ao dia previsto para a ocorrência da preamar superior e da baixa-mar inferior. Se houver necessidade, as medições podem estender-se por mais dois dias além do dia previsto inicialmente, totalizando um mínimo de 3 (três) e um máximo de 5 (cinco) dias de trabalho.

4.10.12 Em cada uma das réguas realizar-se-ão leituras com o objetivo de determinar os níveis superior e inferior atingidos pelas águas, influenciados pela ação da preamar superior e da baixa-mar inferior, respectivamente.

4.10.13 As leituras devem iniciar-se 1 (uma) hora antes das previsões das tábuas das marés, obedecendo, nos primeiros 30

(trinta) minutos, a intervalos de 15 (quinze) minutos. A partir de então, os intervalos serão de 5 (cinco) minutos, até que se observe o maior e o menor valor para a preamar superior e a baixa-mar inferior, respectivamente; continuando a partir deste registro com intervalos de 5 (cinco) minutos nos 30 (trinta) minutos seguintes e retornando a intervalos de 15 (quinze) minutos nos 30 (trinta) minutos finais.

4.10.14 Os registros das observações do primeiro dia devem ser processados, para permitir o cálculo do tempo de retardamento da ação da preamar superior e da baixa-mar inferior, em relação ao horário previsto nas tábuas das marés no local das medições.

4.10.15 A partir do 2º dia de medição o horário de início das leituras deve ser estabelecido considerando-se o tempo de retardamento da influência das marés.

4.10.16 Após a análise dos registros a cada dia, uma das régua extremas, localizada à montante ou à jusante, será relocada em função das leituras obtidas na régua central. Se a régua central indicar oscilação superior a 5 (cinco) centímetros, a régua à jusante será instalada entre as outras régua. Em caso contrário, a régua à montante é que será a deslocada.

4.10.17 Após cinco dias de medição, se a régua central não registrar exatamente a oscilação de 5cm, permitir-se-á a utilização de interpolação linear.

4.10.18 Em pequenos cursos d'água ou em rios e lagoas localizadas em áreas de baixa densidade urbana, a determinação da posição da oscilação de 5cm no nível de suas águas pode ser realizada por observações das marcas deixadas em suas margens ou por adoção do nível definido no cálculo da cota básica efetiva.

4.10.19 O posicionamento da LPM junto a rios e lagoas que sofrem influência das marés deve ser orientado pela curva de nível correspondente ao valor da cota básica efetiva.

4.10.20 Quando o ponto que materializa o limite da influência estiver em nível superior ao da cota básica efetiva, o posicionamento da LPM será orientado pela linha que define o leito menor, a margem do rio ou da lagoa.

4.10.21 O ponto, meio do álveo, que materializa a influência das marés, deve ser o centro do círculo que interligará as linhas das LPM demarcadas nas margens.”

O Item 4.8 da referida ON visa instruir quanto a determinação da cota básica a partir da cota de preamar média, que é a média aritmética das máximas marés mensais do ano de 1831 ou ano que mais se aproxime de 1831.

Apesar de não ser expresso claramente na ON-GEADE-002/2001, considerou-se que o limite de influência da maré na oscilação das águas dos rios é caracterizado por uma variação de 5 cm entre o nível correspondente à baixa-mar inferior e o nível correspondente à preamar superior. O item 4.10.2 estabelece que é nessas condições que a oscilação de 5 cm deve ser medida. Ressalta-se que é no referido item onde a ON faz menção pela primeira vez aos 5 cm de oscilação. Não há, entretanto, nenhum item ou trecho na ON-GEADE-002/2001 estabelecendo que seja essa tal oscilação de 5 cm, ou qualquer outro dado, o critério definidor do limite de influência da maré.

Nesse aspecto, uma primeira recomendação deste relatório é a revisão do texto dessa ON no sentido de eliminar a possibilidade de múltiplas interpretações, principalmente em relação aos processos que interferem na determinação da cota básica e, portanto, da LPM.

O item 4.10.1 estabelece que o monitoramento da altura da água nos rios deve ser feito nos períodos das maiores marés mensais e fora do período de enchentes fluviais. Nesse sentido, as campanhas de campo foram programadas com base na previsão das maiores marés mensais previstas pela Diretoria de Hidrografia da Marinha (DHN) e publicadas na tábua de marés do ano corrente. Pelo fato de não haver monitoramento fluviométrico adequado na bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, optou-se por realizar o monitoramento do nível dos rios todos os meses, mesmo durante o período chuvoso. As medições afetadas pelo aumento das vazões devido às chuvas foram posteriormente descartadas da análise, atendendo a recomendação do item 4.10.1.

Os dados do marégrafo do Porto de Cabedelo foram utilizados como referência para previsão das preamares e baixa-mares e cálculo dos tempos de retardos entre esse marégrafo e os pontos de medição em Rio Tinto. Os dados desse marégrafo foram ainda utilizados para estudo da correlação entre os dados de altura do marégrafo e os dados de altura da água e/ou cota da água nos pontos monitorados. A ficha do marégrafo de Cabedelo é mostrada no Anexo I.

Ainda em relação ao item em questão e aos dados necessários para obtenção das cotas da água, foi realizada uma visita de campo no dia 16/outubro/2019 com a equipe de topografia para determinação das cotas e leitura nas régua para transformação das leituras nas régua e colunas da água em cotas da água em relação a uma mesma referência de nível.

2.3– Procedimentos Técnicos

Durante o período de vigência do projeto (janeiro de 2019 a março de 2020) foram realizadas doze campanhas de monitoramento da variação da altura d'água nos rios Mamanguape e do Gelo, ambos no município de Rio Tinto-PB. No Quadro 1 são apresentadas as datas das campanhas de monitoramento e no Quadro 2 as informações sobre a localização dos pontos onde foram instalados os equipamentos para monitoramento da altura d'água.

Quadro 1 - Informações sobre as campanhas de monitoramento.

Campanhas	Datas
i	19 e 20 de fevereiro de 2019
ii	21 e 22 de março de 2019
iii	18 e 19 de abril de 2019
iv	17 e 18 de maio de 2019
v	15 e 16 de junho de 2019
vi	30 e 31 de julho de 2019
vii	30 e 31 de agosto de 2019
viii	27 e 28 de setembro de 2019
ix	28 de outubro de 2019
x	26 e 27 de dezembro de 2019
xi	12 e 13 de janeiro de 2020
xii	10 e 11 de fevereiro de 2020

Quadro 2 – Informações de localização dos pontos de monitoramento da altura da água.

Referência	Longitude	Latitude	Código do Equipamento	Número serial
Porto	35° 04' 12,5" O	6° 48' 45,9" S	CTD-06	T3802
Rio do Gelo	35° 04' 3,09" O	6° 48' 39,95" S	CTD-07	T3751
Ponte do Veloso	35° 04' 27,1" O	6° 48' 57,8" S	CTD-08	T3756
Cerâmica	35° 4' 33,10" O	6°48' 59,5" S	CTD-09	T8727
Baro*	35° 04' 12,5" O	6° 48' 45,9" S	209	U2867

* Barômetro instalado no Porto, para compensação dos dados dos divers.

A altura da água nos rios foi medida utilizando-se réguas graduadas, conforme sugerido no item 4.10.4 da ON-GEADE-002/2001. Adicionalmente, o monitoramento também foi realizado com o auxílio de transdutores de pressão e barômetro (*diver* e *baro-diver*) das marcas *Schlumberger*® e *Solinst*®. Os *divers* medem a pressão absoluta (pressão atmosférica + pressão da coluna de água), e o *baro-diver* mede a pressão atmosférica. Os dados do *baro-diver* foram usados para realizar a compensação barométrica e gerar dados de coluna d'água acima dos *divers*.

Os *divers* e *baro-divers* foram instalados a cada campanha de campo, realizando-se leituras automáticas da variação da altura da água, com intervalo fixo de 5 minutos, nos quatro pontos monitorados. No momento da instalação dos divers nos pontos de

monitoramento, foram realizadas leituras nas réguas graduadas, cujas cotas altimétricas foram determinadas pela Equipe da Topografia, para posterior conversão dos dados de coluna d'água medidos nos *divers* e da altura da água medidos nas réguas, em cota altimétrica.

O registro das leituras nas réguas graduadas foi feito seguindo a orientação dos itens 4.10.5 e 4.10.6 da ON-GEADE-002/2001, os quais são descritos abaixo:

“4.10.5 O registro das leituras deve ser efetuado até a casa dos milímetros, sendo estes interpolados visualmente.

4.10.6 Nos registros, devem constar a hora e minutos da observação do nível da água em relação à graduação da régua.”

Já os itens 4.10.8 a 4.10.17, abaixo citados, preveem o uso de 3 réguas, cujas posições variam a cada dia durante o período das maiores marés de um determinado mês.

“4.10.8 Em cada medição devem ser utilizadas 3 (três) réguas, fixadas inicialmente nos seguintes locais:

4.10.8.1 À jusante, em local onde por observação visual ou informações, a oscilação do nível da água do rio ou lagoa seja certamente superior à 5cm;

4.10.8.2 À montante, em local onde por observação visual ou informações, a oscilação do nível da água do rio ou lagoa aproxime-se de 5cm;

4.10.8.3 No ponto médio entre as réguas extremas.

4.10.9 As medições devem estar orientadas segundo as previsões das preamares e baixamares da estação maregráfica mais próxima, constantes nas tábuas das marés.

4.10.10 As réguas devem ser instaladas em locais abrigados, de forma a minimizar, nas leituras, influências das oscilações das águas, ocasionadas por fatores naturais ou artificiais.

4.10.11 As medições devem ser iniciadas com pelo menos dois dias de antecedência em relação ao dia previsto para a ocorrência da preamar superior e da baixa-mar inferior. Se houver necessidade, as medições podem estender-se por mais dois dias além do dia previsto inicialmente, totalizando um mínimo de 3 (três) e um máximo de 5 (cinco) dias de trabalho.

4.10.12 Em cada uma das réguas realizar-se-ão leituras com o objetivo de determinar os níveis superior e inferior atingidos pelas águas, influenciados pela ação da preamar superior e da baixa-mar inferior, respectivamente.

4.10.13 As leituras devem iniciar-se 1 (uma) hora antes das previsões das tábuas das marés, obedecendo, nos primeiros 30 (trinta) minutos, a intervalos de 15 (quinze) minutos. A partir de então, os intervalos serão de 5 (cinco) minutos, até que se observe o maior e o menor valor para a preamar superior e a baixa-mar inferior, respectivamente; continuando a partir deste registro com intervalos de 5 (cinco) minutos nos 30 (trinta) minutos seguintes e retornando a intervalos de 15 (quinze) minutos nos 30 (trinta) minutos finais.

4.10.14 Os registros das observações do primeiro dia devem ser processados, para permitir o cálculo do tempo de retardamento da ação da preamar superior e da baixa-mar inferior, em relação ao horário previsto nas tábuas das marés no local das medições.

4.10.15 A partir do 2º dia de medição o horário de início das leituras deve ser estabelecido considerando-se o tempo de retardamento da influência das marés.

4.10.16 Após a análise dos registros a cada dia, uma das réguas extremas, localizada à montante ou à jusante, será relocada em função das leituras obtidas na régua central. Se a régua central indicar oscilação superior a 5 (cinco) centímetros, a régua à jusante será instalada entre as outras réguas. Em caso contrário, a régua à montante é que será a deslocada.

4.10.17 Após cinco dias de medição, se a régua central não registrar exatamente a oscilação de 5cm, permitir-se-á a utilização de interpolação linear.”

O intuito da alternância na localização dessas réguas é identificar o ponto no rio em que se observa uma oscilação de exatamente 5 cm decorrente das baixa-marés e preamares. Entretanto, esse procedimento proposto pela ON-GEADE-002/2001 não é viável no caso da cidade de Rio Tinto, uma vez que muitos trechos de rio estavam inacessíveis dentro do contexto em que este projeto foi executado.

Eventualmente, em se dispondo de mão de obra, equipamentos e embarcação, outros pontos poderiam ser monitorados. Diante dessa dificuldade, foram instalados inicialmente 8 (oito) pontos de monitoramento ao longo dos rios próximos à cidade de Rio Tinto (Figura 7), visando identificar até onde há influência da maré sobre a oscilação das águas fluviais. A localização desses pontos foi determinada *in loco* durante a primeira campanha de campo, em fevereiro de 2019, com auxílio de moradores da região que tinham conhecimento dos locais de monitoramento.

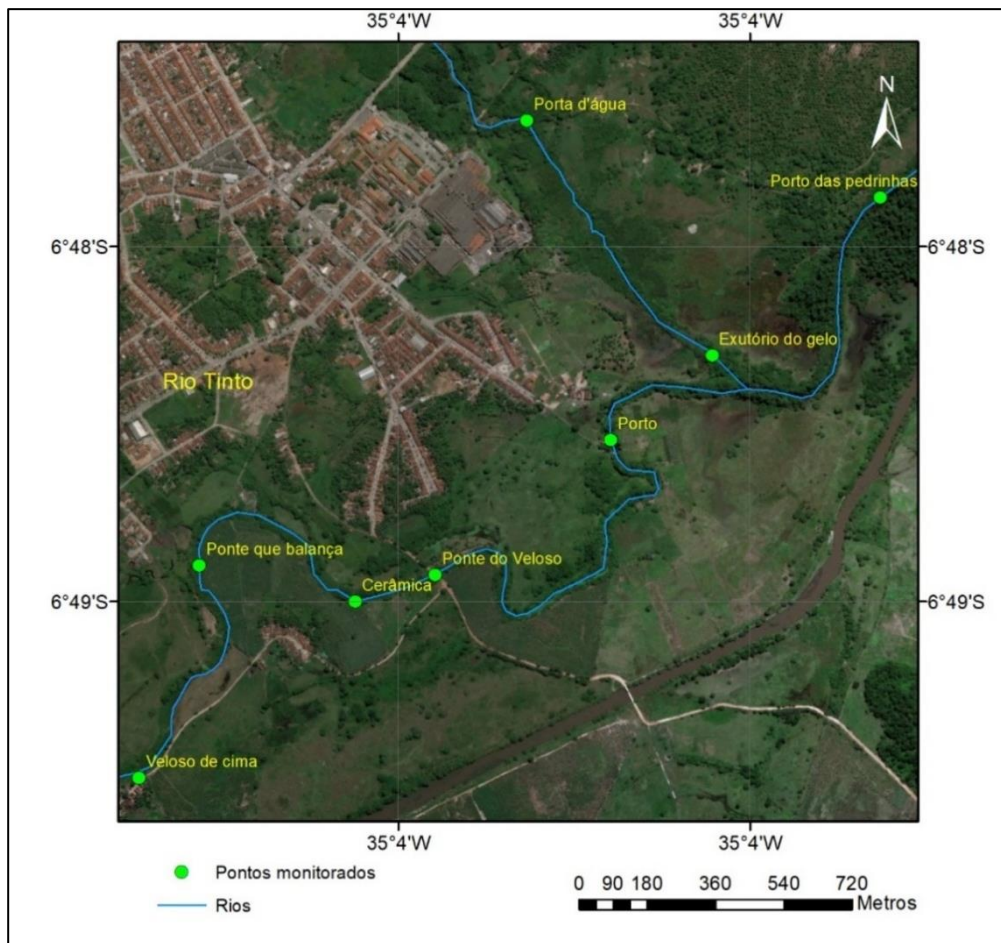


Figura 7 - Distribuição dos pontos de monitoramento inicialmente planejados.

A instalação dos oito pontos foi feita em março de 2019, mês em que estava prevista a maior preamar superior do ano em questão (274 cm). Observou-se que não havia influência da maré nos pontos à montante do ponto “Cerâmica” e no ponto “Porta D’água”. Pelo fato de haver sido detectada a influência da maré no “Porto” (Porto dos Pescadores) e “Exutório do Rio do Gelo”, daqui para a frente denominado apenas de Rio do Gelo, o monitoramento no ponto “Porto das Pedrinhas” se mostrou desnecessário e esse ponto foi descartado. Assim, o monitoramento da variação da altura da água nos meses que seguiram foi realizado apenas nos quatro remanescentes: “Cerâmica”, “Ponte do Veloso”, “Porto” e “Rio do Gelo” (Figura 8).

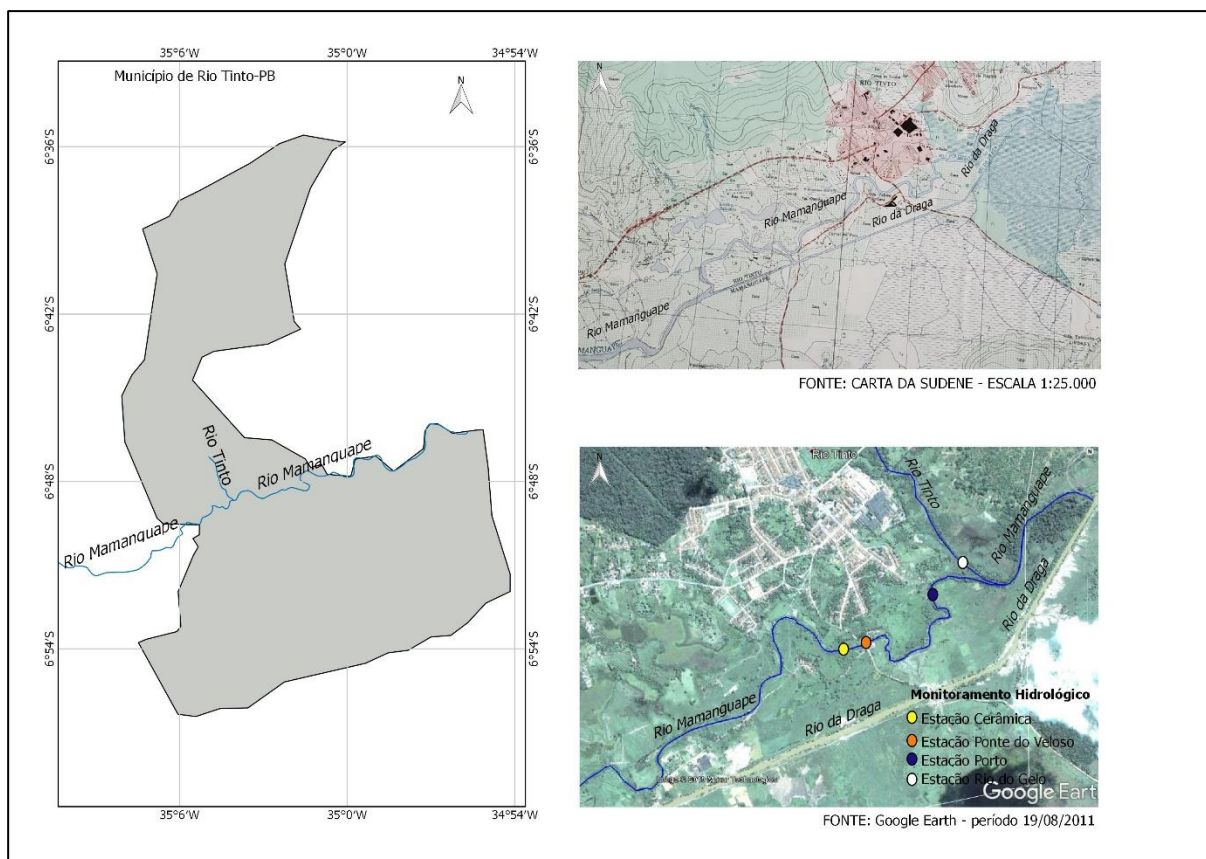


Figura 8 - Distribuição dos pontos de monitoramento onde há influência de maré.

Diante da impossibilidade de instalar, a cada campanha, as três régua previstas na ON-GEADE-002/2001, recorreu-se ao Item 4.10.17 da mesma ON, que estabelece que “Após cinco dias de medição, se a régua central não registrar exatamente a oscilação de 5 cm, permitir-se-á a utilização de interpolação linear”. Com base no referido item, a localização do ponto a ser considerado para o cálculo da cota básica foi determinado assumindo que a oscilação varia linearmente ao longo do rio, aumentando de montante para jusante, como esperado. Entretanto, devido à impossibilidade física de instalar régua entre o último ponto sob influência da maré e o primeiro sem influência da maré, foi necessário fazer uso de extrapolação linear. Portanto, assumiu-se que a declividade da oscilação entre os pontos “Ponte do Veloso” e “Cerâmica” permanece, mesmo à montante desse último.

Uma vez determinado, seja por interpolação ou extrapolação, o ponto onde a oscilação das águas é de 5 cm, procedeu-se com o cálculo da cota básica. Nessa questão, a ON-GEADE-002/2001 carece de esclarecimento, pois a instrução de cálculo da cota básica ocorre apenas em seus itens 4.8.2 e 4.8.3, os quais levam em conta dados da estação maregráfica mais próxima. No caso da cidade de Rio Tinto, a cota básica deverá estar atrelada aos dados fluviométricos, relativos aos pontos sob influência da maré. Entretanto, a ON-GEADE-

002/2001 não especifica quantas medições são necessárias para se obter a LPM e como o cálculo da cota básica, nessas situações, deverá se dar. O Item 4.10.19 apenas instrui que “O posicionamento da LPM junto a rios e lagoas que sofrem influência das marés deve ser orientado pela curva de nível correspondente ao valor da cota básica efetiva”.

Com base no Item 4.8.2, considerou-se, para efeito de cálculo da cota básica efetiva, que o equivalente à cota de preamar média, no caso em questão, será dado pela média aritmética das máximas alturas d’água nos locais onde se observa a oscilação de 5 cm descrita anteriormente. Ressalta-se que, a posição desses locais com oscilação de 5 cm pode variar mês a mês, em função da altura da maré. Por essa razão, os dados medidos em cada campanha foram usados para determinar a amplitude de oscilação nos pontos monitorados. Conhecendo a amplitude e a distância entre esses pontos, foram calculadas as declividades das amplitudes (i) entre os pontos de monitoramento.

Por exemplo, as medições realizadas em março de 2019 indicaram uma amplitude de 73 cm no “Porto” e 18 cm na “Ponte do Veloso”, pontos esses que distam 1.100 m ao longo do leito original do rio Mamanguape. Portanto, a declividade entre eles foi de:

$$i_A = \frac{73-18}{1,100} = 50 \text{ cm/km}$$

Nesse mesmo mês (março), as cotas máximas da água no “Porto” e na “Ponte do Veloso” foram, respectivamente, 1,728 m e 1,594 m. Tomando a diferença entre essas cotas máximas e dividindo pela distância de 1,1 km, percebe-se que a altura máxima diminui 12 cm/km. Isso significa que a declividade das amplitudes é diferente da declividade das alturas máximas (i_M). Nesse sentido, essas duas declividades foram calculadas com os seguintes objetivos:

- Declividade das amplitudes: determinar a posição do ponto onde a oscilação é igual 5 cm;
- Declividade das máximas alturas d’água: determinar a cota máxima no ponto onde a oscilação é igual a 5 cm.

No caso da amplitude (AMP , cm) no ponto “Cerâmica” superar os 5 cm, realizou-se a seguinte extrapolação para estimar a distância x (km) à montante, em que a oscilação seja exatamente 5 cm.

$$x = \frac{(AMP - 5)}{i_A}$$

Em seguida, a cota da altura da água no ponto com oscilação = 5 cm foi determinada por:

$$COTA_{max} = i_M \times x + h_{max}$$

em que h_{max} é a altura máxima da água no ponto de monitoramento x m à jusante. As fórmulas acima foram adotadas apenas nos casos em que havia a necessidade de extrapolação. Quando a oscilação igual a 5 cm ocorreu entre quaisquer dois pontos de monitoramento, fez-se a interpolação para se obter tanto a posição quanto a cota máxima. Finalmente, a cota básica efetiva foi calculada pela média dos valores de h_{max} mensais.

2.4- Campanhas de Monitoramento de Março de 2019

A campanha de monitoramento de março de 2019 foi realizada entre os dias 20 e 22 de março. No dia 20/03/2019, foram definidos dois novos pontos de monitoramento para substituir aqueles excluídos por não apresentarem influência da maré. Os novos pontos onde novas réguas foram instaladas foram: Rio do Gelo e Cerâmica. Nessa campanha, além das réguas graduadas em centímetros, foram utilizados os *divers* e *baro-divers* (Figura 9) descritos abaixo:

- Sensores do tipo Baro-Diver (da vanEssen Instruments): esse equipamento tem acurácia máxima de 2 cm H₂O, acurácia típica de 0,5 cm H₂O e resolução de 0,1 cmH₂O, e é utilizado para medir a pressão atmosférica e a temperatura;
- Sensores do tipo CTD-Diver, modelo DI271 (também da vanEssen Instruments): esse equipamento tem acurácia máxima de 2 cm H₂O, acurácia típica de 0,5 cm H₂O e resolução de 0,2 cm H₂O, e é utilizado para medir a temperatura, condutividade elétrica e a pressão absoluta, ou seja, a pressão da coluna de fluido mais a pressão atmosférica.

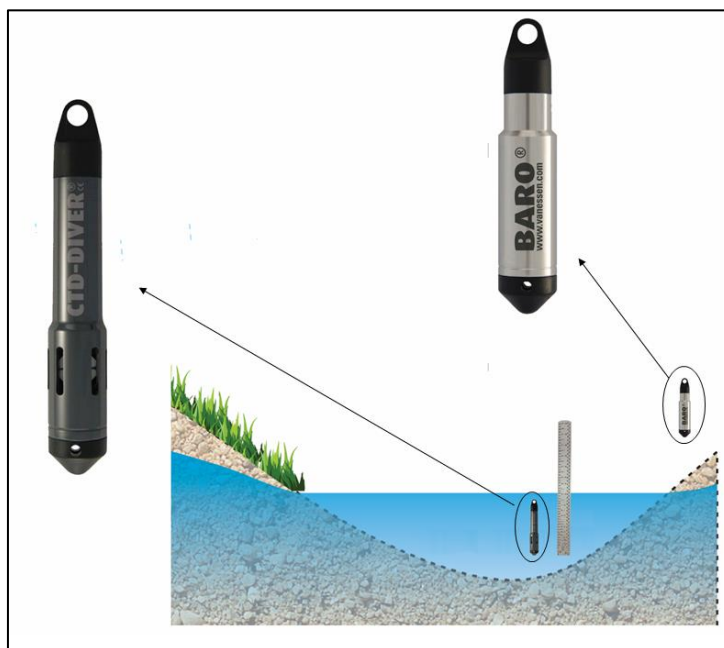


Figura 9 - Equipamentos utilizados no monitoramento da coluna da água e altura da água nos rios e riachos.

Para se obter a medida da coluna de água (altura em relação ao sensor), faz-se a compensação barométrica, ou seja, desconta-se a leitura do barômetro daquela medida pelo CTD-Diver.

Esses equipamentos são bastante versáteis pois, uma vez programados e instalados, não necessitam da intervenção humana para a medição, apenas para a coleta dos dados medidos. Eles servem para realização de monitoramento automático da altura da água e podem ser programados para medições em até meio segundo. No caso em questão foi adotado como passo de tempo 5 (cinco) minutos.

No monitoramento realizado foram tomados os seguintes cuidados para que as medições fossem corretamente realizadas:

- O primeiro sensor a ser programado e instalado foi o Baro-Diver, pois a pressão atmosférica é utilizada para determinação posterior da coluna d'água monitorada pelos CTD-Divers (compensação barométrica);
- O Baro-Diver foi instalado na sede da colônia dos pescadores junto ao ponto de medição do Porto. Esse ponto é central e serve para que os CTD-Divers estejam dentro de um raio de 15 quilômetros, que é o raio de influência do Baro-Diver para instalação de um único equipamento para monitoramento da pressão atmosférica;

- Para a instalação dos CTD-Divers foram escolhidos locais onde não houvessem variações na altura da água em função de ondas da superfície do rio. Também foram utilizados cabos do tipo Kevlar® em que distensões são desprezíveis;
- Numa caderneta de campo foram anotados os números de série (SN) dos equipamentos instalados para evitar a troca de equipamentos e que medições dos sítios fossem trocadas.

2.5 – Resultados das Leituras de Marés

a) Dados monitorados em março de 2019

No Quadro 3 estão as informações sobre os dias de instalação dos Baro-Divers e CTD-Divers para as atividades de campo de março de 2019.

Quadro 3 – Data de instalação dos Baro-Divers e CTD-Divers instalados no campo de março de 2019.

Local de Instalação	Equipamento	Dia
Rio do Gelo*	CTD-07	20/03/2019
Porto	CTD-06	21/03/2019
Ponte do Veloso	CTD-08	21/03/2019
Cerâmica	CTD-09	21/03/2019

* Denominação dada ao exutório do Rio do Gelo.

Conforme se verifica no Quadro 3, as medições começaram no ponto do Rio do Gelo às 17 horas do dia 20 de março, para identificação da variação da altura da água nesse ponto. O barômetro foi instalado na Colônia de Pescadores para monitoramento automático da pressão atmosférica local. A instalação dos demais transdutores de pressão foi feita no início da manhã do dia 21 de março.

As Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13 apresentam os valores medidos nos transdutores de pressão instalados nos pontos de monitoramento, que apresentaram variações indicativas de influência da maré, ou seja, no Porto e na Ponte do Veloso, na Cerâmica (esses três no rio Mamanguape), e no Rio do Gelo. As medições manuais realizadas nas réguas estão mostradas nas planilhas enviadas em formato digital.

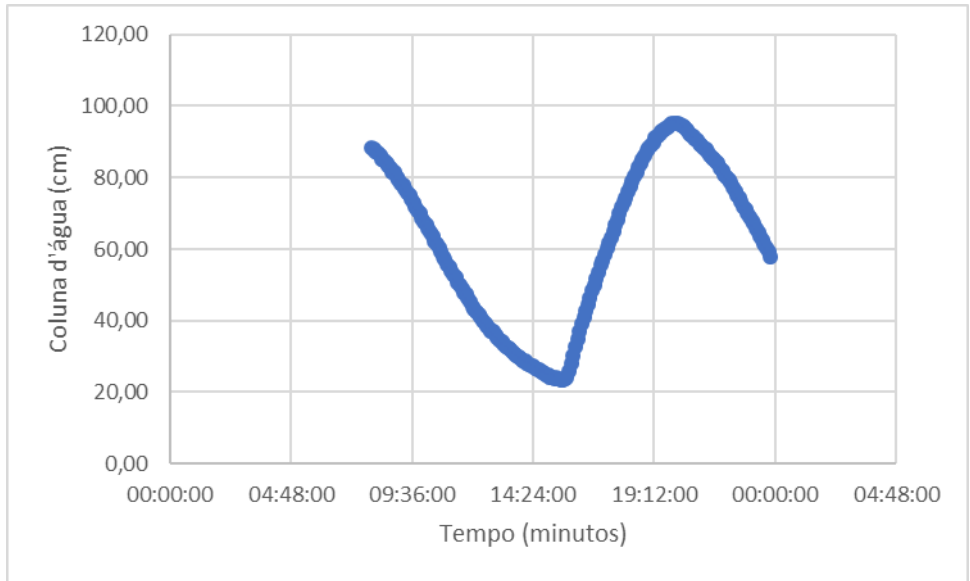


Figura 10 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Porto (Data de medição: 21/Mar/2019).

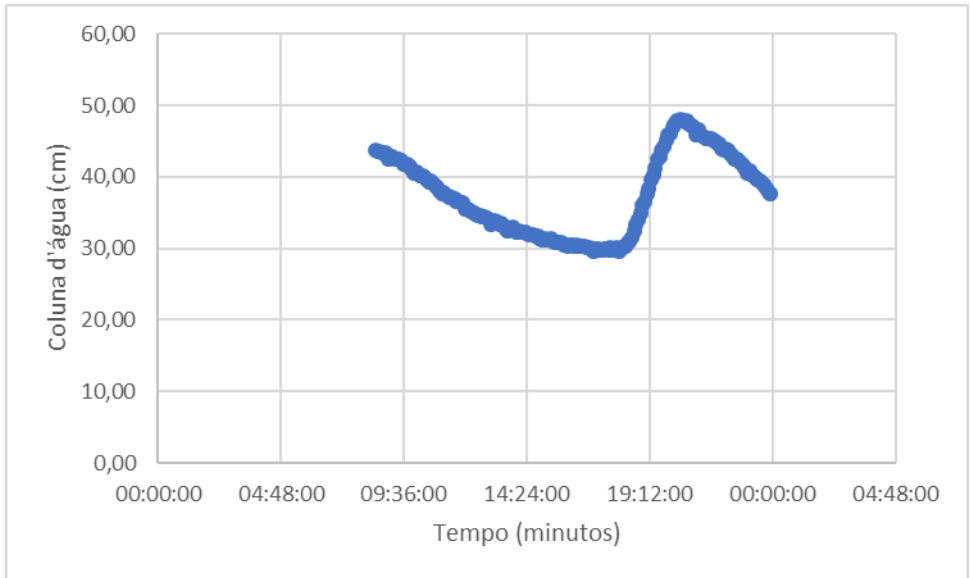


Figura 11 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver na Ponte do Veloso (Data de medição: 21/Mar/2019).

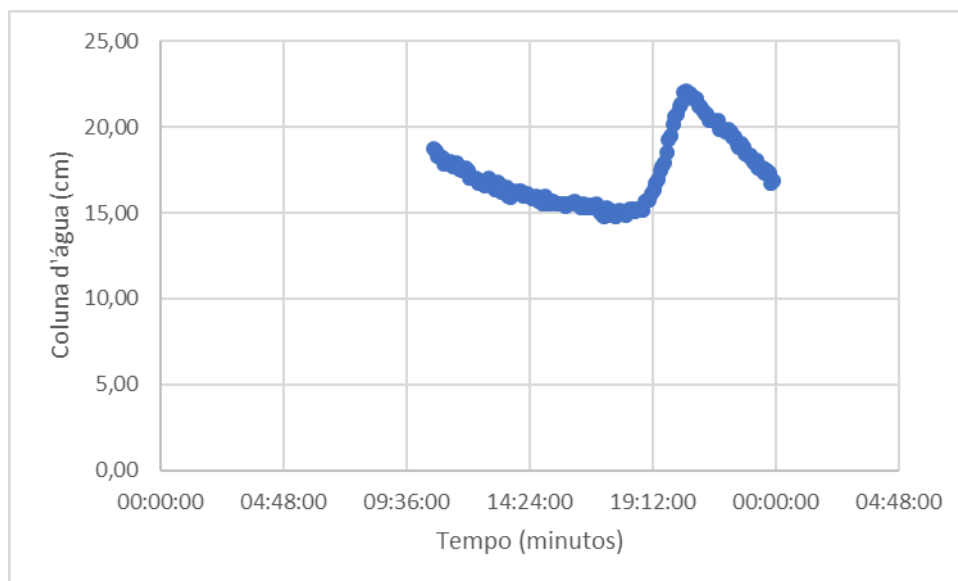


Figura 12 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver na Cerâmica (Data de medição: 21/Mar/2019).

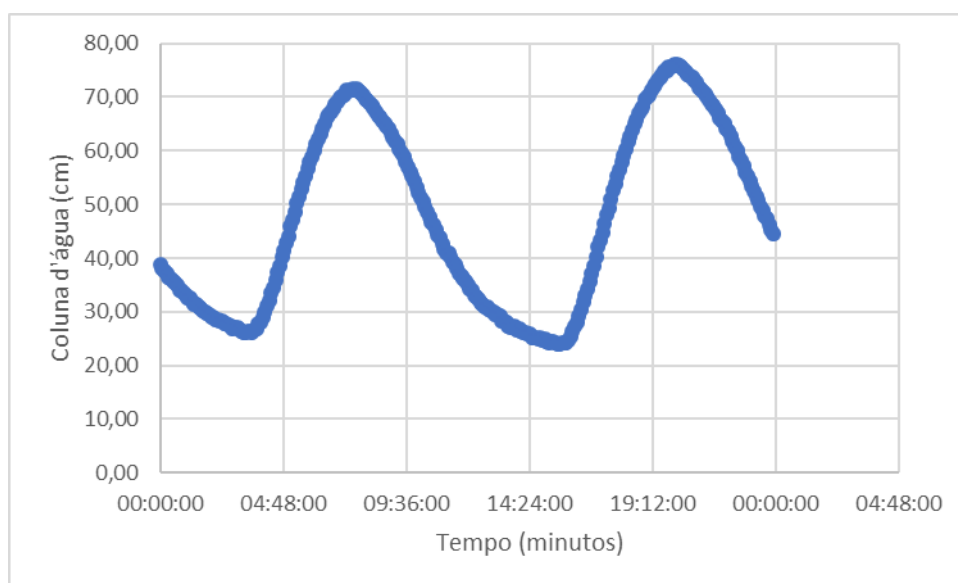


Figura 13 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Rio do Gelo (Data de medição: 21/Mar/2019).

A partir dos dados apresentados nos gráficos anteriores, dos dados que os originaram e da informação da tábua da maré do Porto de Cabedelo, que indica que no dia 21 de março de 2019 a maior maré foi de 2,7 metros, ocorrendo às 16:54 horas e a menor maré foi de 0,0 metro ocorrendo às 10:36, construiu-se o Quadro 4.

Os resultados mostrados no Quadro 4 indicam os tempos de retardo apenas entre as máximas alturas de maré no mar e no rio. Com o intuito de verificar a defasagem temporal para outras alturas da maré, as cotas altimétricas correspondentes às colunas de água foram usadas para calcular a correlação cruzada (R_{xy}) entre as alturas.

Quadro 4 - Dados calculados a partir da maré de 21 de março de 2019 (Referência utilizada: Porto de Cabedelo).

Ponto de monitoramento	Varição identificada	Hora de ocorrência da maré mínima	Tempo de retardo da maré mínima	Hora de ocorrência da maré máxima	Tempo de retardo da maré máxima
Porto	Maior do que 5 cm	15:35 h	04:59 h	20:05 h	03:11 h
Ponte do Veloso	Maior do que 5 cm	18:00 h	07:24 h	20:25 h	03:31 h
Cerâmica	Maior do que 5 cm, mas próximo da variação buscada	17:20 h	06:44 h	20:30 h	03:36 h
Rio do Gelo	Maior que 5 cm	15:35 h	04:59 h	20:10 h	03:16 h

A Figura 14 mostra os dados de altura da maré, fornecidos pela tábua de maré do Porto de Cabedelo, e a altura da água, a cada 5 min, no primeiro ponto de monitoramento em Rio Tinto (Porto dos Pescadores).

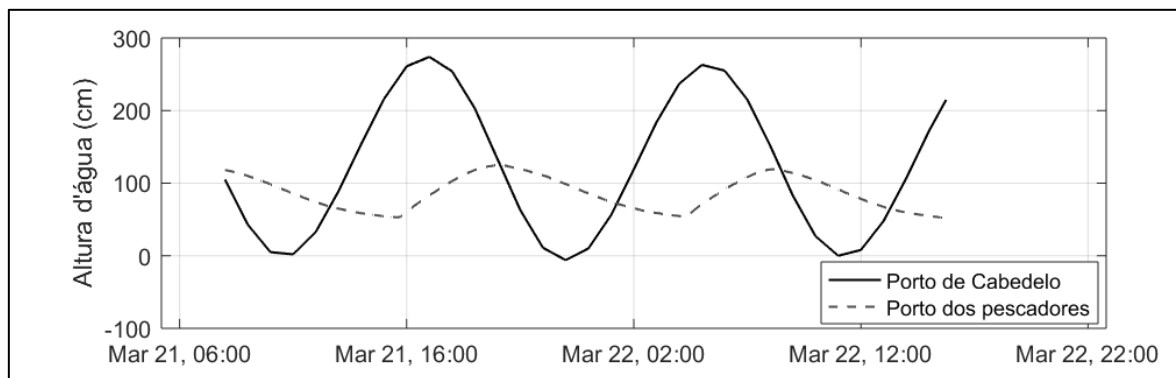


Figura 14 - Dados de altura da água no Porto de Cabedelo e no Porto dos pescadores em Rio Tinto para o período de 21 a 22 de março de 2019.

A correlação cruzada para um *lag* temporal k é dada por $R_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y}$, em que σ_x e σ_y são, respectivamente, os desvios padrão dos dados do marégrafo de Cabedelo e de altura da água no rio e $C_{xy}(k)$ é a função de covariância, que quantifica a variância em relação às médias (\bar{x} e \bar{y}) desses dados:

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y})$$

O resultado da análise de correlação cruzada (Figura 15) indica que a máxima correlação cruzada (R_{xy}) ocorre para $k = 210$ min, isto é, 3,5 horas. Isso significa que, em

média, a defasagem temporal entre a variação da maré e a oscilação correspondente na altura da água no ponto de monitoramento “Porto” é de 3,5 horas.

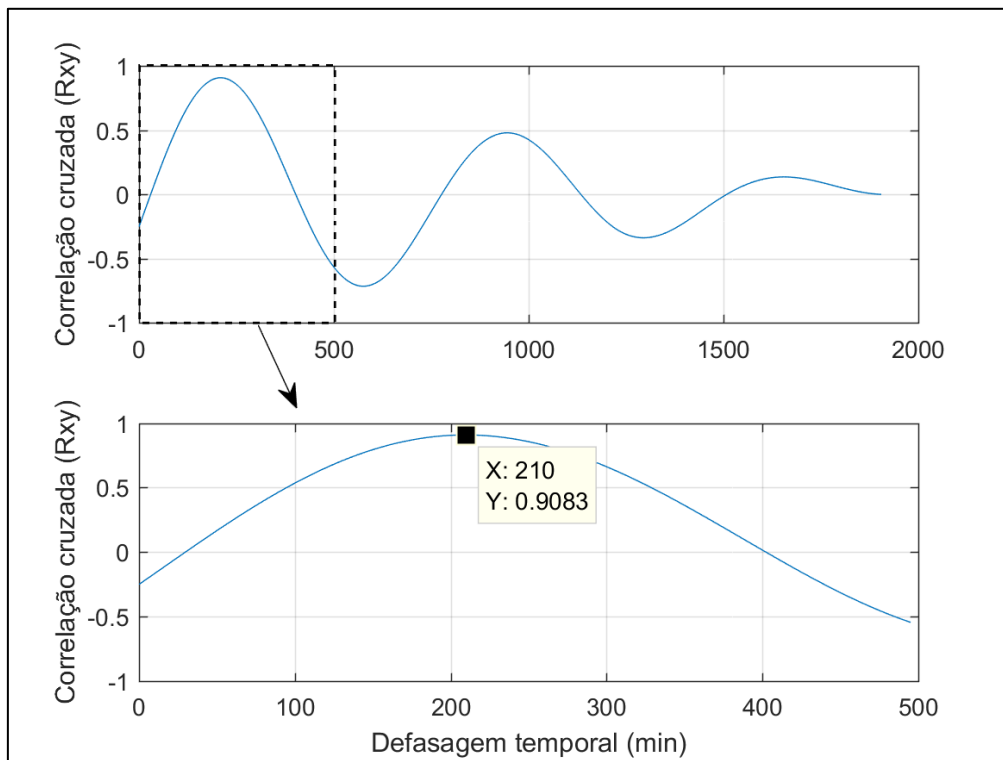


Figura 15 – Tempo de retardo estimado com base na correlação cruzada entre os dados do marégrafo do Porto de Cabedelo e as medições realizadas em Rio Tinto.

Além de quantificar o tempo de retardo (defasagem temporal), realizou-se uma análise de correlação entre esses dados (marégrafo de Cabedelo vs. altura de água no rio), cujo detalhamento apresenta-se mais adiante, no item ‘d’. O intuito dessa análise foi estabelecer alguma relação matemática visando estimar a LPM de 1831 com base nas simulações de altura da maré fornecidas pela DHN para o referido ano. Comparado a outros procedimentos metodológicos mais robustos, a estimativa da cota da água no rio em Rio Tinto a partir de regressões lineares possibilitou a estimativa da LPM de 1831 de maneira simples e de fácil implementação. A validade da abordagem proposta foi feita utilizando os dados monitorados durante o ano de 2019, conforme detalhado no item ‘b’.

b) Dados Monitorados em Dezembro de 2019

O monitoramento em dezembro de 2019 foi realizado de maneira mais prolongada, visando obter dados suficientes para validar a metodologia adotada e aplicada no item “a”, apresentado anteriormente.

Inicialmente são apresentados os dados resultantes do monitoramento realizado em campo (Figura 16, Figura 17 e Figura 18). Esses dados foram utilizados para validar a regressão estimada a partir dos dados monitorados em março de 2019. Ressalta-se que não é apresentada a figura da variação do nível d'água para o ponto de monitoramento nominado de "Cerâmica", pois o rio estava sem água nessa campanha de monitoramento, não identificando-se assim influência da maré nesse ponto.

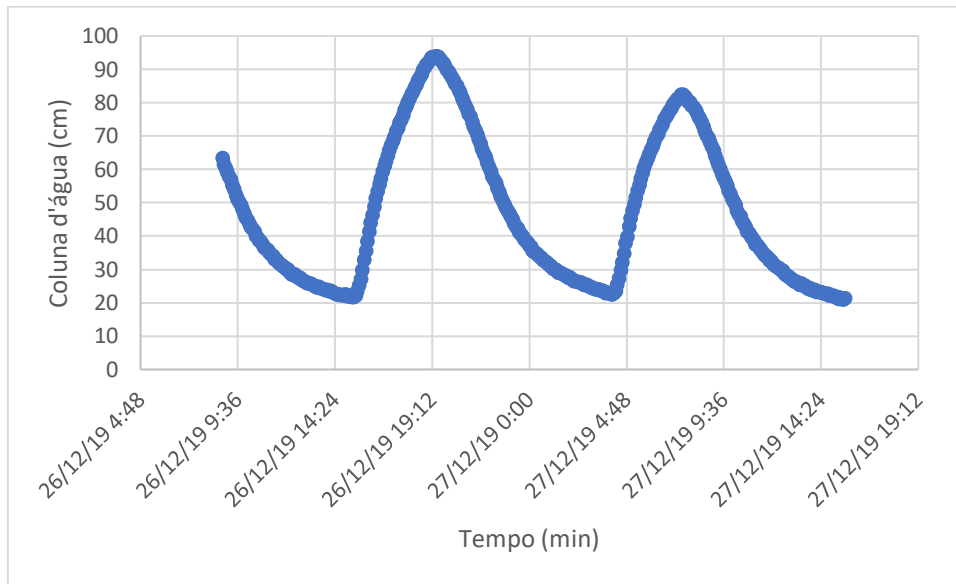


Figura 16 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Porto (Data de medição: 26 e 27 de dezembro de 2019).

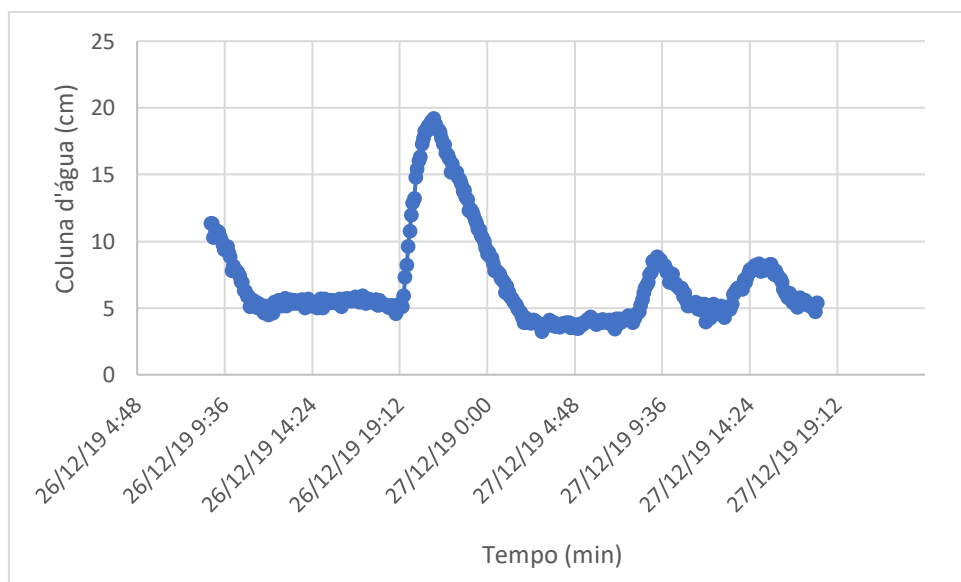


Figura 17 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Ponte do Veloso (Data de medição: 26 e 27 de dezembro de 2019).

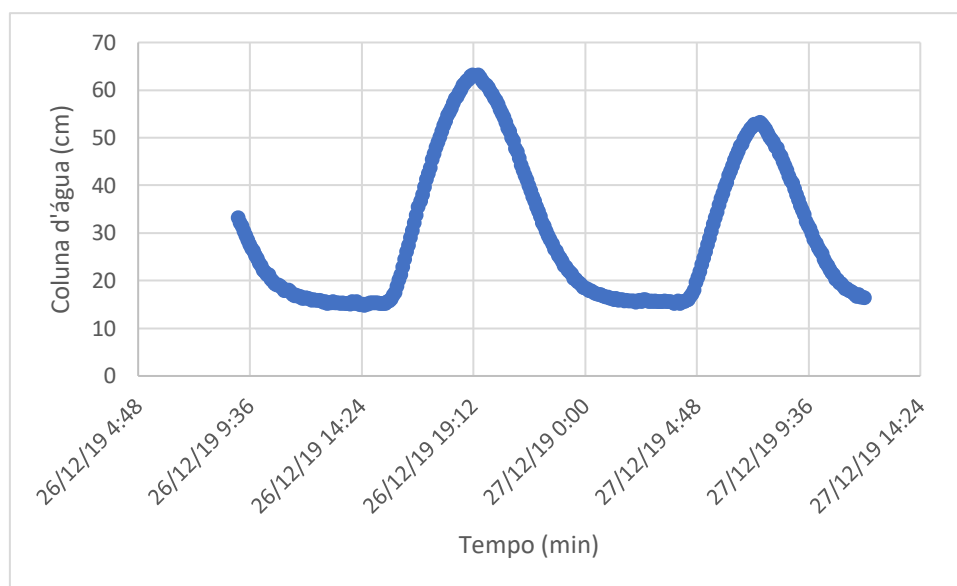


Figura 18 - Níveis d'água monitorados com CTD-Diver no Rio do Gelo (Data de medição: 26 e 27 de dezembro de 2019).

A partir dos dados apresentados nos gráficos anteriores, dos dados que os originaram, e da informação da tábua da maré de Cabedelo, que indica que no dia 26 de dezembro a maior maré foi de 2,40 metros ocorrendo às 16:34 horas e a menor maré foi de 0,2 metro ocorrendo às 22:43 e de 0,4 metro às 10:17, foram calculados os dados constantes do Quadro 5.

Quadro 5 - Dados calculados a partir da maré de 26 e 27 de dezembro de 2019 (Referência utilizada: Porto de Cabedelo).

Ponto de monitoramento	Varição identificada	Hora de ocorrência da maré mínima	Tempo de retardo da maré mínima	Hora de ocorrência da maré máxima	Tempo de retardo da maré máxima
Porto	Maior do que 5 cm	04:10 h	05:20 h	19:25 h	02:52 h
Ponte do Veloso	Maior do que 5 cm	03:00 h	04:17 h	21:05 h	04:31 h
Cerâmica	Não identificada pela ausência de água no rio	-	-	-	-
Rio do Gelo	Maior que 5 cm	14:25 h	04:25 h	19:10 h	02:36 h

Aplicando a regressão ajustada, conforme procedimento descrito no item anterior, aos dados horários de maré simulados pela DHN, foram estimados os níveis de água no Porto dos Pescadores para os dias 26 e 27 de dezembro.

Tais estimativas foram comparadas com as leituras apresentadas nas Figuras 16 a 18. Os níveis mínimos e máximos nos horários observados e estimados pela regressão nos dois dias de monitoramento no mês em questão são mostrados na Tabela 1. As estimativas podem

ser consideradas satisfatórias, uma vez que a diferença entre os mínimos observados e estimados são inferiores a ~8 cm; portanto, uma diferença < 10 % em ambos os casos. No caso das máximas, as diferenças foram ainda menores (< 9 %).

Tabela 1 – Níveis observados e estimados pela regressão no mês de dezembro.

Mínimo		Máximo	
Nível observado (cm)	Nível estimado (cm)	Nível observado (cm)	Nível estimado (cm)
84,7	90,8	153,3	161,3
85,3	92,7	153,0	161,0

Ressalta-se que a máxima maré geralmente não ocorre nas horas “fechadas” das simulações horárias da DHN (e.g. 08:00, 09:00, etc). A preamar superior do dia 26/12/2019 (2,4 m) estava prevista, segundo as simulações da DHN, para ocorrer às 16:34 h. O nível máximo medido em Rio Tinto, correspondendo a essa preamar superior, foi 1,562 m. Aplicando a regressão ajustada aos níveis máximos de maré simulados pela DHN, chegou-se a 1,613 m, portanto, um erro de apenas 3% para mais.

c) Cálculo da cota básica efetiva para o ano de 2019

A Tabela 2 apresenta um resumo das medições realizadas com auxílio dos transdutores de pressão nos quatro pontos monitorados na cidade de Rio Tinto. As medidas feitas nos meses de junho e julho de 2019 foram descartadas, haja vista que foi observado um aumento significativo dos níveis nos rios causado pelas chuvas na bacia hidrográfica do rio Mamanguape. Os registros feitos pelos transdutores ficaram incompletos no mês de outubro, não sendo possível medir a oscilação nesse mês.

As distâncias estimadas a partir do Google Earth entre os pontos “Ponte do Veloso” e “Cerâmica” foi de 200 m e entre os pontos “Porto” e “Ponte do Veloso” foi de 1.100 m. Assim, as declividades das amplitudes e dos máximos foram calculadas conforme se apresenta na Tabela 3 e na Tabela 4. Em seguida, foram obtidas as distâncias x à montante do ponto de monitoramento, cuja oscilação mais se aproximou dos 5 cm (Quadro 6).

Tabela 2 - Cotas máximas e oscilações nos pontos de monitoramento

Data	Local	Cota Max. (m)	Oscilação (m)
21 - 22/Mar/2019	Porto	1,728	0,727
	Rio do Gelo	1,158	0,505
	Ponte do Veloso	1,594	0,185
	Cerâmica	1,700	0,073
18 - 19/Abr/2019	Porto	1,737	0,698
	Rio do Gelo	1,656	0,495
	Ponte do Veloso	1,603	0,200
	Cerâmica	1,696	0,085
17 - 18/Mai/2019	Porto	1,643	0,588
	Rio do Gelo	1,571	0,346
	Ponte do Veloso	1,507	0,219
	Cerâmica	1,572	0,046
30 - 31/Ago/2019	Porto	1,765	0,673
	Rio do Gelo	1,691	0,439
	Ponte do Veloso	1,688	0,239
	Cerâmica	1,698	0,101
27 - 28/Set/2019	Porto	1,700	0,719
	Rio do Gelo	1,637	0,503
	Ponte do Veloso	1,611	0,248
	Cerâmica	1,642	0,081
28-Out-19	Porto	1,642	0,642
	Rio do Gelo	1,615	-
	Ponte do Veloso	1,575	-
	Cerâmica	1,569	-
26 - 27/Dez/2020	Porto	1,562	0,72
	Rio do Gelo	1,509	0,48
	Ponte do Veloso	1,383	0,15
	Cerâmica	-	-
13 - Jan - 2020	Porto	1,566	0,70
	Rio do Gelo	1,534	0,49
	Ponte do Veloso	1,377	0,24
	Cerâmica	-	-
10 - Fev - 2020	Porto	1,683	0,80
	Rio do Gelo	1,620	0,57
	Ponte do Veloso	1,517	0,31
	Cerâmica	-	-

Tabela 3 - Declividade mensal das oscilações

Mês	Declividade (CM/KM)	
	Porto-Ponte	Ponte-Cerâmica
Mar/19	49	56
Abr/19	45	57
Mai/19	34	87
Ago/19	39	69
Set/19	43	83
dEz/20	52	74
jan/20	41	-
fev/20	44	-

Tabela 4 - Declividade mensal entre as alturas máximas

Mês	Declividade (CM/KM)	
	Porto-Ponte	Ponte-Cerâmica
Mar	12	53
Abr	12	46
Mai	12	32
Ago	6	5
Set	8	15
dez	16	-
jan	17	-
fev	15	-

Quadro 6 - Distância do ponto com oscilação = 5 cm em relação ao ponto de jusante

Mês	Distância (M)	Ponto de jusante
Março	42	cerâmica
Abril	62	cerâmica
Maio	195	ponte do veloso
Agosto	75	cerâmica
Setembro	38	cerâmica
dez	132	ponte do veloso
jan	471	ponte do veloso
fev	592	ponte do veloso

Ressalta-se que a abordagem adotada para extrapolar e determinar a posição do ponto sob influência da maré é puramente matemática. Nos meses de dezembro/2019 a fevereiro/2020 não havia água no ponto “Cerâmica”. Portanto, a estimativa do ponto sob influência da maré nesses meses é meramente matemática. O fato de que praticamente não houve chuva no período (ver Figura 2) sugere que o solo se encontrava seco e o nível freático, baixo. Nessas condições, a água da onda de remanso é rapidamente absorvida pelo solo nas margens do rio, causando um aumento significativo nas declividades das oscilações e das alturas máximas. Como as barreiras naturais impossibilitaram a instalação de um novo ponto

de monitoramento à montante da “Ponte do Veloso”, não houve medições que possibilitassem calcular tais declividades, sendo necessário empregar aquelas obtidas para o trecho mais próximo à jusante (“Ponte do Veloso” – “Porto dos Pescadores”).

Na sequência, foram obtidas as cotas da altura da água no ponto com oscilação igual a 5 cm ($COTA_{max}$), cuja média de 1,68 m corresponde à cota da LPM de 2019 (Tabela 5).

Tabela 5 - Cotas máximas correspondentes à Linha de Preamar Média (LPM) de 2019.

Mês	$COTA_{max}$ (M)
março	1,72
abril	1,72
maio	1,57
agosto	1,72
setembro	1,64
dezembro	1,40
janeiro	1,40
fevereiro	1,54
média	1,59

d) Validação de Metodologia para Estimativa da Cota Básica Efetiva

De posse da cota básica efetiva para 2019, procedeu-se com a validação da metodologia proposta, a qual consiste nos seguintes procedimentos:

- Estabelecer, para um período de controle, uma função de regressão relacionando altura da água do marégrafo de Cabedelo e a cota da água em um ponto no rio estudado;
- Aplicar a regressão ajustada no passo anterior utilizando dados do marégrafo de Cabedelo de outro ano, visando estimar a altura da água no rio ou a cota da água no rio para os “novos” dados de maré;
- Com base nas declividades de oscilação e cotas máximas obtidas durante o período de controle, estimar a posição e cota máxima da água no rio onde a oscilação é igual a 5 cm;
- Efetuar a média das cotas da água obtidas no passo 3 para calcular a cota básica efetiva.

Para o caso tratado neste relatório, o resultado do passo 1 é mostrado na Figura 19, na qual se observa uma excelente correlação ($R^2 > 0,95$) entre os dados horários de altura do marégrafo de Cabedelo e de altura de água medida no “Porto” dos Pescadores em Rio Tinto. Observa-se que para a baixa-mar inferior, a regressão ajustada não representa bem os dados medidos. Percebe-se também que a cota mínima (cota máxima – oscilação) no “Porto” (Tabela 2) é $0,97 \pm 0,08$ m. Por outro lado, ao substituir o x da regressão $y = 0,325 x + 0,833$ pelos dados de mínimas marés mensais de 2019, a média obtida para altura de água no “Porto” é em torno de 0,84. Tendo em vista o baixo desvio padrão em relação à média de 0,97 m reportado anteriormente, adotou-se esse valor para representar a cota mínima e, a partir dele, obter as oscilações nesse ponto de monitoramento como também nos demais, com base nas declividades (passo 3).

Procedendo dessa maneira, chegou-se aos valores da Tabela 7, a partir dos quais foram calculadas as distâncias x que localizam o ponto com oscilação igual a 5 cm (Tabela 8). Por fim, foram obtidos os valores de $COTA_{MAX}$ correspondentes, cuja média é de 1,61 m (Tabela 9), apenas 2 cm acima da cota básica efetiva obtida usando os dados medidos. Alternativamente, poder-se-ia utilizar a média das declividades entre cada ponto de monitoramento, i.e. a média da coluna 2 da Tabela 3 e da Tabela 4. Procedendo dessa maneira, chega-se a uma cota básica efetiva de 1,60 m.

Ressalta-se que, em razão da impossibilidade da instalação de um segundo ponto de monitoramento no Rio do Gelo, a cota básica calculada desconsidera os dados ali medidos.

Figura 19 - Correlação e equação de regressão entre as alturas d’água do marégrafo de Cabedelo e cota d’água no rio Mamanguape em Rio Tinto (seção de referência: Porto dos pescadores).

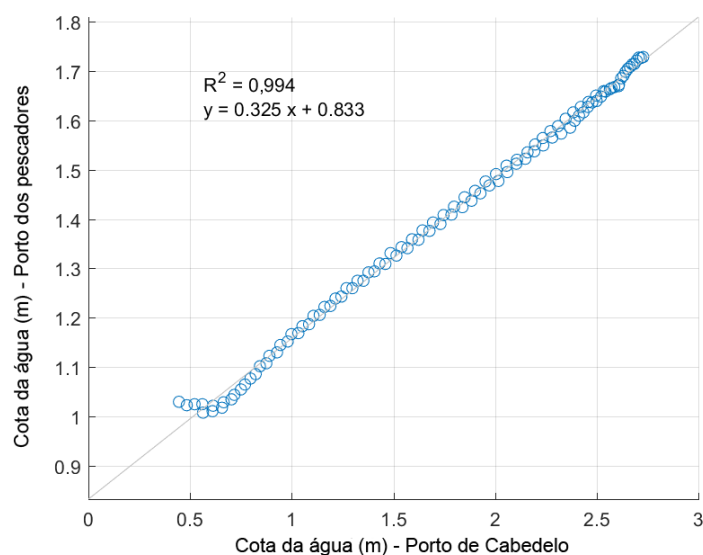


Tabela 6 – Validação das cotas máximas e oscilações nos pontos de monitoramento.

Mês	Local	Cota Max. (m)	Oscilação (m)
Mar/2019	Porto	1,711	0,710
	Ponte do Veloso	1,58	0,224
	Cerâmica	1,68	0,083
Abr/2019	Porto	1,678	0,678
	Ponte do Veloso	1,637	0,051
	Cerâmica	1,6455	0,645
Mai/2019	Porto	1,510	0,159
	Rio do Gelo	1,575	0,018
	Cerâmica	1,633	0,224
Ago/2019	Porto	1,643	0,083
	Ponte do Veloso	1,622	0,224
	Cerâmica	1,653	0,127
Set/2019	Porto	1,678	0,71
	Ponte do Veloso	1,637	0,224
	Cerâmica	1,6455	0,083
Out/2019	Porto	1,711	0,74
	Ponte do Veloso	-	-
	Cerâmica	-	-
Dez/2019	Porto	1,61	0,64
	Ponte do Veloso	1,43	0,14
	Cerâmica	-	-
Jan/2020	Porto	1,71	0,74
	Ponte do Veloso	1,59	0,28
	Cerâmica	-	-
Fev/2020	Porto	1,74	0,77
	Ponte do Veloso	1,62	0,28
	Cerâmica	-	-

Tabela 7 – Validação da distância do ponto com oscilação igual a 5 cm em relação ao ponto de jusante (2019 e 2020).

Mês	Distância (M)	Ponto de jusante
Março	95	cerâmica
Abril	57	cerâmica
Mai	154	ponte do veloso
Agosto	172	cerâmica
Setembro	63	cerâmica
outubro	127	ponte do veloso
dezembro	166	ponte do veloso
janeiro	141	ponte do veloso
fevereiro	153	ponte do veloso

Tabela 8 – Validação das cotas máximas (2019 e 2020).

Mês	COTA _{máx} (M)
Março	1,73
Abril	1,66
Maio	1,56
Agosto	1,65
Setembro	1,66
dezembro	1,42
janeiro	1,56
Fevereiro	1,60
média	1,61

e) Cálculo da cota básica efetiva e LPM de 1831

Os procedimentos de validação descritos no item anterior foram replicados empregando as simulações fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para o ano de 1831, chegando-se aos resultados mostrados na

Tabela 9 e na Tabela 11. Destaca-se que nos meses em que não houve medição das declividades (oscilação e nível máximo), foram utilizadas as respectivas médias, as quais foram calculadas usando os valores obtidos para os demais meses em que houve monitoramento. Considerando que as relações e taxas de variação observadas no ano de 2019 são válidas para 1831, a cota básica efetiva de 1831 seria 1,66 m (Tabela 11).

É importante destacar que tal premissa dificilmente é válida no caso particular da cidade de Rio Tinto, em razão das modificações antrópicas encontradas na região. A velocidade e magnitude de propagação do remanso causado pela maré é tão maior quanto maior for a altura da água no mar, pois nessas condições, o gradiente hidráulico será máximo. Ademais, o avanço da onda de remanso é limitado tanto pelo gasto energético do escoamento devido ao atrito do fluido (água) com o canal (leito e margens) quanto pela vazão do rio (Godin, 1999; Horrevoetes et al., 2004).

No caso de Rio Tinto, a construção do canal por onde atualmente escoam o rio Mamanguape certamente alterou o alcance da influência da maré no trecho de rio (leito original do rio Mamanguape), que escoam ao sul da cidade de Rio Tinto. Em termos hidráulicos, um canal retilíneo e de dimensões maiores do que um talvegue curvilíneo oferece bem menos resistência ao escoamento. Dessa maneira, tanto a vazão natural quanto uma eventual onda de remanso encontram no canal um caminho preferencial.

Portanto, a não existência do canal (cenário encontrado em 1831) certamente implicaria numa vazão natural substancialmente superior àquela encontrada atualmente no leito original do rio Mamanguape. Consequentemente, (i) a altura correspondente à baixa-mar

inferior estaria numa cota superior ao ~1 m observado em 2019 no “Porto”; (ii) é provável que a influência da maré em 1831 atingisse locais à montante do ponto “Cerâmica”.

Tabela 9 - Cotas máximas e oscilações estimadas nos pontos de monitoramento (1831).

Mês	Local	Cota Max. (m)	Oscilação (m)
Jan/1831	Porto	1,678	0,708
	Ponte do Veloso	1,489	0,226
	Cerâmica	1,550	0,130
Fev/1831	Porto	1,678	0,708
	Ponte do Veloso	1,511	0,223
	Cerâmica	1,572	0,043
Mar/1831	Porto	1,710	0,740
	Ponte do Veloso	1,577	0,259
	Cerâmica	1,683	0,079
Abr/1831	Porto	1,710	0,740
	Ponte do Veloso	1,577	0,259
	Cerâmica	1,670	0,079
Mai/1831	Porto	1,710	0,740
	Ponte do Veloso	1,575	0,259
	Cerâmica	1,640	0,079
Ago/1831	Porto	1,678	0,708
	Ponte do Veloso	1,601	0,226
	Cerâmica	1,611	0,046
Set/1831	Porto	1,678	0,708
	Ponte do Veloso	1,589	0,226
	Cerâmica	1,620	0,130
Out/1831	Porto	1,678	0,708
	Ponte do Veloso	1,540	0,226
	Cerâmica	1,601	0,130
Nov/1831	Porto	1,681	0,711
	Ponte do Veloso	1,543	0,229
	Cerâmica	1,604	0,133
Dez/1831	Porto	1,711	0,741
	Ponte do Veloso	1,531	0,259
	Cerâmica	1,592	0,162

Tabela 10 - Distância do ponto com oscilação igual a 5 cm em relação ao ponto de jusante (1831).

Mês	Distância (M)	Ponto de jusante
Janeiro	165	Ponte do veloso
Fevereiro	192	Ponte do veloso
Março	95	cerâmica
Abril	114	cerâmica
Mai	30	ponte do veloso
junho	7	Cerâmica
julho	195	Ponte do veloso
Agosto	125	Cerâmica
Setembro	188	ponte do Veloso
outubro	195	Ponte do veloso
novembro	199	Ponte do veloso
dezembro	31	Cerâmica

Tabela 11 - Cotas correspondentes à altura máxima da água (1831).

Mês	COTA _{máx} (M)
janeiro	1,60
fevereiro	1,63
Março	1,73
Abril	1,72
Mai	1,65
Agosto	1,62
Setembro	1,61
outubro	1,66
novembro	1,66
dezembro	1,60
média	1,66

2.6 - Dificuldades Encontradas

As principais dificuldades encontradas dizem respeito à identificação dos pontos a partir do qual a influência da maré não é mais observada. No caso do rio Mamanguape esse ponto já foi identificado. No caso do Rio do Gelo, pequeno afluente do rio Mamanguape, o ponto que não tem mais influência da maré ainda não foi encontrado, devido à dificuldade de acesso ao Rio do Gelo, no seu trecho de montante. Foram feitas 3 tentativas de incursão a potenciais pontos, em diferentes épocas do ano, mas não foi possível a seleção de um segundo ponto de monitoramento no Rio do Gelo. As zonas alagadiças e com vegetação fechada e de alto porte, sem passagem, impediram a realização de incursões a determinados pontos.

Uma dificuldade extra encontrada justamente nos últimos meses de monitoramento foi que o ponto da Cerâmica deixou de ter água, assim não havia como fazer medições nesse local, não tendo assim como identificar o ponto de variação igual a 5 cm entre a Cerâmica e a Ponte do Veloso.

Provavelmente a maior dificuldade deste trabalho foi lidar com a influência do canal por onde escoava o “novo” rio Mamanguape. O monitoramento da vazão tanto no canal quanto no curso original desse rio seria fundamental para investigar os impactos antrópicos sobre o deslocamento da LPM próximo à cidade de Rio Tinto. Entretanto, os recursos previstos para a execução deste TED não incluíram equipamentos de nenhuma natureza e a equipe não dispunha de material próprio para realizar medições de vazão.

2.7 - Recomendações

Duas recomendações são deixadas aqui pela equipe de Hidrologia:

1. A primeira, de caráter mais geral, refere-se à necessidade de revisão da ON-GEADE-002/2001 para tornar mais claros os procedimentos de determinação da Linha de Preamar Média (LPM). Essa Orientação Normativa carece de atualização quanto aos procedimentos de medições de campo, pois atualmente, por exemplo, há diversos equipamentos para medição e armazenamento automático do nível da água em campo. Esses equipamentos deveriam ser citados e incorporados aos trabalhos de campo, para facilitar esses trabalhos e reduzir as fontes de erros e incertezas inerentes às medições manuais;
2. A segunda, de caráter mais específico relativo ao trabalho em Rio Tinto-PB, refere-se à extensão do trabalho realizado no ano de 2019. A equipe de Hidrologia sugere a formalização de um novo Termo de Execução Descentralizada entre a Secretaria do Patrimônio da União e Universidade Federal da Paraíba, para estudo das interferências do antropismo (em especial a construção do canal de desvio do Rio Mamanguape) no cálculo da LPM determinada neste primeiro Termo de Execução. Há a possibilidade de monitoramento de outras variáveis além da cota da água (vazão e volume d'água do canal de desvio do rio, por exemplo), para estudo de como esse canal interfere no cálculo da LPM, como o volume d'água do canal se distribuiria no leito original do Rio Mamanguape, entre outras questões.

CAPÍTULO 3 – PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES

3.1 – Introdução

Este capítulo apresenta as atividades e resultados referentes à Meta 2, constante do Plano de Trabalho SPU-UFPB, cujo objetivo específico é a realização de transporte de coordenadas geodésicas e altitudes, referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), visando posterior obtenção de pontos de controle para processamento fotogramétrico e geração de MDT e LPM.

3.2 – Levantamentos de Campo

a) Transporte de altitudes (referências de nível)

Esse produto consiste no cálculo dos valores dos desníveis obtidos para o nivelamento geodésico entre a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) e os pontos auxiliares de interesse na análise da variação das marés.

As metodologias aplicadas para a obtenção das cotas ortométricas dos pontos que serviram de referência para análise da variação da maré (obtida por meio das régua limnimétricas e dispositivos automáticos, ver Capítulo 2) e para geração dos pontos de controle, foram:

- (i) “nivelamento geométrico composto de precisão”, que consiste em uma operação que visa a determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras verticais através de um nível de precisão; e
- (ii) Rastreamento de coordenadas pelo método *Real Time Kinematic* (RTK) utilizando-se um par de receptores do Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*).

A altitude de um local consiste na distância vertical entre determinado ponto na superfície terrestre e o nível médio dos mares, podendo ser determinada por diversos métodos. Em virtude da alta precisão apresentada, o nivelamento geométrico é um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para determinação de desníveis. Contudo, devido à disseminação de novas tecnologias relacionadas ao GNSS, pode-se constatar o uso crescente

dessas na determinação da posição geográfica, inclusive para o posicionamento vertical (IBGE, 2019).

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) disponibiliza referências de alta precisão para o posicionamento vertical, e essas estações, denominadas Referências de Nível (RRNN), foram estabelecidas ainda no ano de 1945 através do método de nivelamento geométrico. Contudo, visando garantir a integridade, a consistência e a confiabilidade das informações pertinentes ao Banco de Dados Geodésicos (BDG), as altitudes das RRNN são recalculadas periodicamente em razão da incorporação de novas linhas de nivelamento, e também do desenvolvimento de novas técnicas de medição e processamento de dados. Além disso, atualmente estão sendo utilizadas estações GNSS de rastreamento contínuo vinculadas às respectivas redes verticais de cada país para a definição do Sistema Internacional de Referência para Altitudes (IHRN, *International Height Reference System*) com objetivo de substituir os referenciais locais e nacionais por sistemas definidos e realizados em âmbito global (IBGE, 2019).

Para Santos et al. (2013), a utilização de receptores GNSS apresenta adequada acurácia para determinação de dados relativos à altimetria. Ademais, quando comparado a outros métodos altimétricos convencionais, constatam-se benefícios como eficiência, rapidez e baixo custo.

O posicionamento geodésico pelo GNSS pode ser realizado através de diversos métodos, destacando-se entre eles o posicionamento relativo estático e o posicionamento cinemático em tempo real. De acordo com Vitti *et al.* (2017), o método RTK proporciona maior rapidez e confiabilidade na determinação da posição geográfica e da altitude elipsoidal, sendo possível a obtenção do desnível geométrico de um alinhamento com referência ao geoide local.

b) Transporte de Altitudes (Nivelamento Geométrico)

Para a determinação dos desníveis de forma precisa, foi empregado o método de visadas recíprocas com distâncias equivalentes (Figura 20). Nesse método duas miras são colocadas em posições equidistantes do nível sobre os pontos que se deseja determinar o desnível, sendo então efetuadas as leituras. Trata-se de um processo em que o desnível é determinado pela diferença entre uma leitura de ré e uma de vante, minimizando o efeito do erro de colimação do equipamento topográfico (ABNT, 1994).

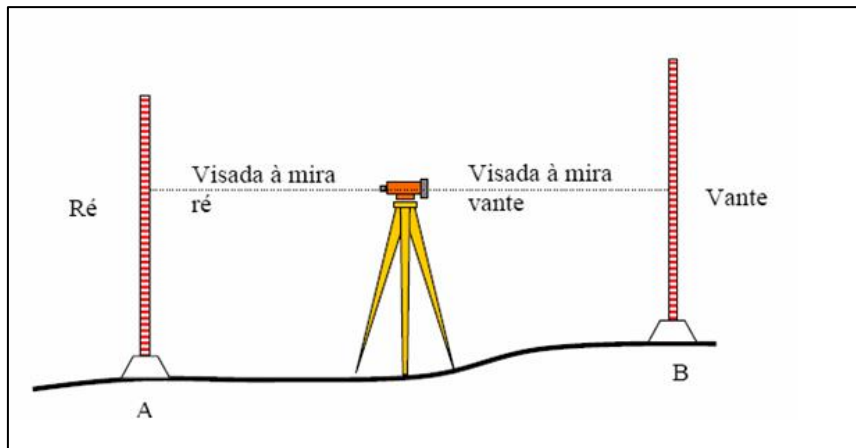


Figura 20 - Nivelamento Geométrico pelo Método das Visadas Equidistantes.

Os trabalhos de campo foram realizados utilizando um nível ótico da marca NIKON, modelo AP-8, que consiste em um instrumento que visa medir as lacunas entre os pontos que estão em diferentes alturas ou movendo dimensões de um ponto conhecido para outro desconhecido, tripé de alumínio e régua graduada de encaixe ou mira topográfica (Figura 21).



Figura 21 – Nível ótico (esquerda) e régua graduada (direita).

O nível ótico tem um telescópio semelhante ao de um teodolito com retículos estádios para apontar e um nível de bolha muito sensível (ou uma gravidade compensadora ou magnética no caso de níveis automáticos), que irá manter a horizontalidade do eixo óptico do telescópio. Estão ambos ligados em conjunto de modo que quando o nível é irregular, o eixo do telescópio não mantém uma horizontalidade perfeita.

Esses instrumentos experimentaram bastante mudança nas últimas décadas. No início dos anos 1980 quase todos os instrumentos utilizados eram do tipo "manual". Atualmente, é raro encontrar tais instrumentos, incluindo as marcas. As técnicas de fabricação melhoraram tanto que as máquinas são tão precisas e confiáveis como as manuais, apesar da desconfiança suscitada nos antigos inspetores dos primeiros modelos automáticos.

Esse instrumento deve ter características técnicas especiais para executar a sua função, como a bolha para nivelar o instrumento, o telescópio com ampliação suficiente para ver as divisões de quem vê e uma grade com fios para fazer o objetivo e tomar leituras, e a possibilidade de um compensador para assegurar o nivelamento horizontal perfeito e para comparação.

Posteriormente, os dados coletados em campo são transmitidos a um computador portátil, onde se faz uma análise prévia das precisões obtidas, observando as diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento e a distância média percorrida.

Nas atividades de campo realizadas foram observados critérios básicos para obtenção da precisão requerida, conforme indicado no Termo de Referência, na Resolução da Presidência do IBGE nº 22 de 21/07/83 e na [NBR 13.133](#), tais como:

- i) Realizar caminhamento de forma dupla (nivelamento e contranivelamento), de modo que a diferença dos resultados de ambos não pode ser superior a $20 \text{ mm}\sqrt{K}$ (onde K corresponde à distância nivelada média dada em quilômetros);
- ii) Realizar visadas iguais e inferiores a 60m, com erro na equidistância de ré e de vante inferior a 5% do comprimento total do lance;
- iii) Realizar leituras com miras verticalizadas sobre as RRNN ou sobre os pontos de passagem, sendo empregado para tal um nível de cantoneira;
- iv) Realizar leituras acima de 0,50 m do solo, evitando turbulências causadas pela reverberação;
- v) Realizar leituras abaixo de 3,5 m na mira para evitar a falta de verticalidade da mesma decorrente do efeito do vento;
- vi) Utilizar sempre miras aos pares e alternando-as entre ré e vante, eliminando o erro de índice entre réguas;
- vii) Apoiar sempre as miras sobre sapatas ou pinos; e
- viii) Utilizar ponto de segurança (PS) a aproximadamente 1km ou, em situações desfavoráveis, diminuir esse espaçamento.

O ajuste das cotas para as linhas de nivelamento geométrico enquadradas, ou seja, com cotas de partida e chegada conhecidas, foi realizado por distribuição proporcional à distância nivelada. Nesse caso a correção a ser aplicada aos desníveis é proporcional ao comprimento de cada linha nivelada.

Utilizou-se como ponto de partida o marco RN: 2466L, pertencente a Rede Geodésica do IBGE, localizado na calçada da delegacia do município de Rio Tinto (Figura 22), cuja altitude ortométrica é de 6,1497 m, conforme mostra o Descritivo da Estação (Figura 23). A partir desse ponto, foram transportadas as altitudes para os pontos de apoio (RN) inseridos na área de estudo.

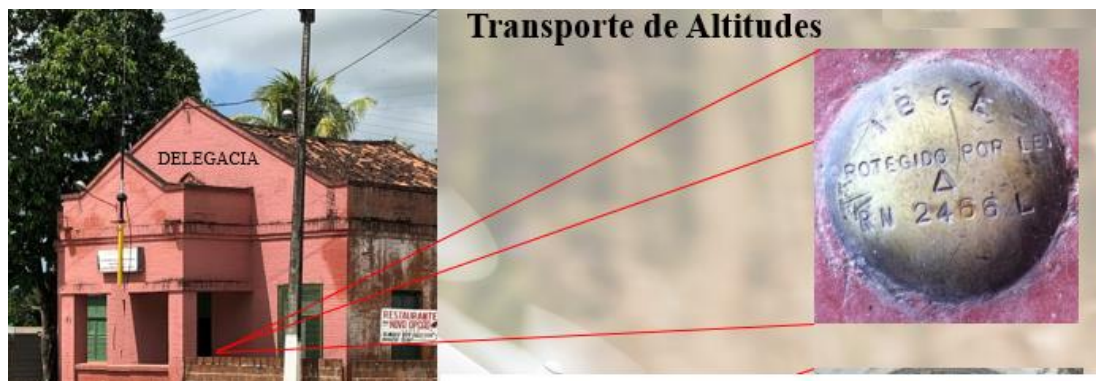


Figura 22 - Localização do RN 2466L (Porta da Delegacia de Rio Tinto). Fonte: IBGE.

IBGE		Relatório de Estação Geodésica			
Estação :	8094904	Nome da Estação :	8094904		
Município :	RIO TINTO	Tipo :	Estação Gravimétrica - EG		
Última Visita:	18/04/2007	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	RN : 2466L	UF :	PB		
DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	06 ° 48 ' 36 " S	Altitude Normal(m)	6,1497	Gravidade(mGal)	978.133,55
Longitude	35 ° 04 ' 38 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,089	Data Medição	18/04/2007
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	16/07/1984		
Data Medição	22/10/2004	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	60,150		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.246.761				
UTM(E)	270.428				
MC	-33				

Figura 23 – Descritivo da Estação Geodésica RN: 2466L. Fonte: IBGE.

Os pontos de apoio (RN) foram inseridos e materializados em locais estratégicos, próximos ao leito do rio, uma vez que os mesmos foram referências para instalação das estações de monitoramento da influência da maré.

Para obtenção dos referidos pontos, foi realizado o Nivelamento Geométrico para transporte de altitudes tomando como base o RN 2466L, a partir do qual foram realizados os Nivelamentos e Contranivelamentos até os pontos de apoio (RN), a saber: RN2466LE, RN1, RN2, RN3, RN4 e RN5 (Figura 24).

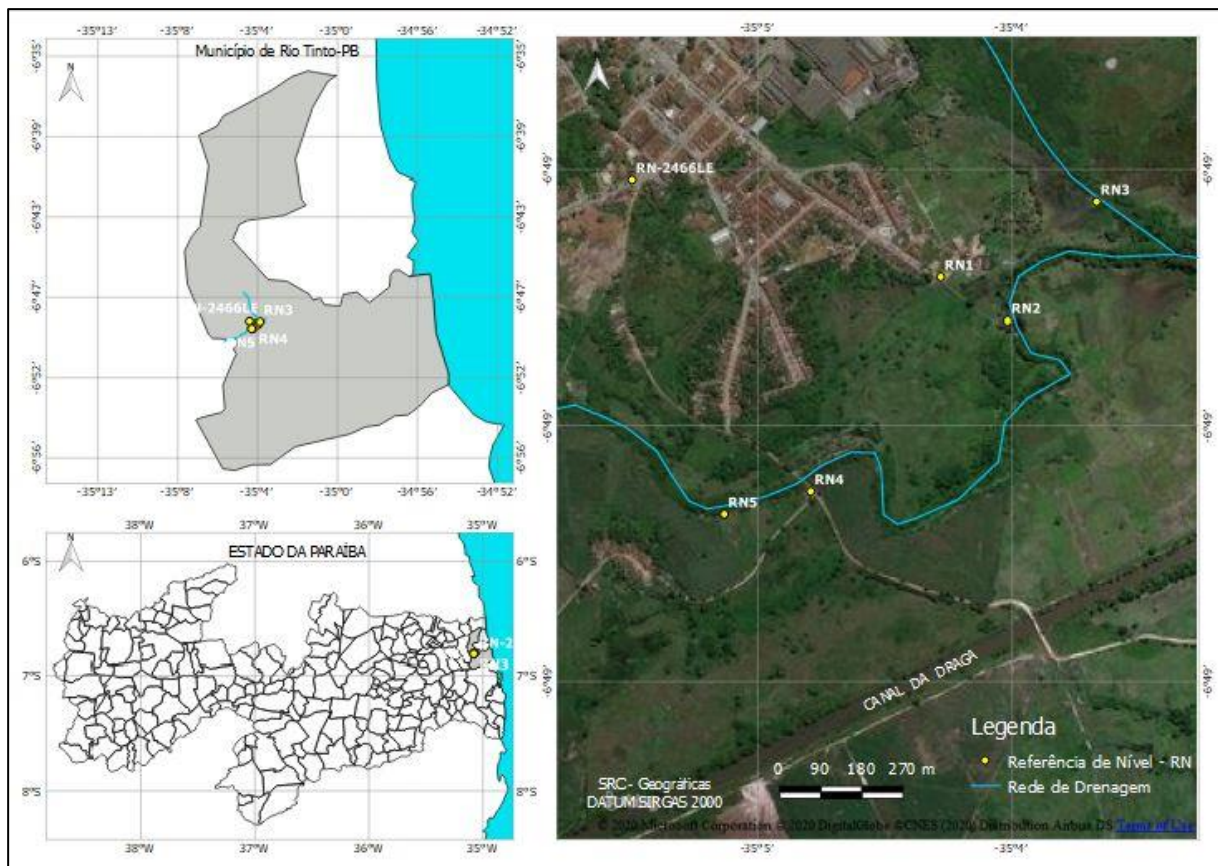


Figura 24 – Localização das Referências de Nível (RN) utilizadas.

O Apêndice III mostra as planilhas de dados com os resultados obtidos pelo Nivelamento e Contranivelamento Geométrico. Os resultados obtidos atendem a Norma Técnica da ABNT 13.333 que estabelece uma precisão de $20 \text{ mm}\sqrt{K}$ (onde K corresponde à distância nivelada média dada em quilômetros).

Os desníveis entre os pontos observados por meio do nivelamento geométrico de alta precisão permitem que as altitudes sejam obtidas com incertezas definidas pela NBR 13.333/94. Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com a *Classe IIN Geom.* da referida Norma, que corresponde ao nivelamento Classe 2 (Figura 25).

Classe	Metodologia	Desenvolvimento					Tolerâncias de fechamento
		Linha Seção	Extensão Máxima	Lance Máximo	Lance Mínimo	Nº máx. de lances	
IN Geom.	Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 3, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura a ré e vante dos três fios, visadas eqüidistantes com diferença máxima de 10 m, ida e volta em horários distintos e com Ponto de Segurança (PS) a cada km, no máximo.		10 km	80 m	15 m		$12 \text{ mm } \sqrt{K}$
IIN Geom.	Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 2, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura do fio médio, ida e volta ou circuito fechado, com Ponto de Segurança (PS) a cada dois km, no máximo.		10 km	80 m	15 m		$20 \text{ mm } \sqrt{K}$

Figura 25 – Classes de Nivelamento conforme NBR 13.333/94.

A Tabela 12 mostra o resumo do Nivelamento Geométrico com as cotas encontradas e as respectivas precisões. Os valores das Cotas obtidas, bem como a precisão das mesmas estão de acordo com a NBR 13.333, nesse sentido pode-se tomar esse parâmetro para validar as mesmas, uma vez que a precisão não ultrapassou 5 mm.

Tabela 12 – Validação dos pontos de apoio (RN) para o monitoramento

PONTOS	COTA ORTOMÉTRICA (m)	PRECISÃO (mm)	PONTO DE REFERÊNCIA
RN1	3,732	0,004	Curral Sr. Biu
RN2	2,275	0,005	Porto
RN3	1,724	0,000	Rio do Gelo
RN4	4,172	0,003	Veloso
RN5	3,578	0,001	Cerâmica
RN2466LE	6,238	0,000	Pousada Casa Grande
RN2466L	*6,1497	-	RN-IBGE

*Cota fornecida pelo Descritivo do RN-2466L – (Fonte: IBGE).

c) Transporte de altitudes geodésicas (Sistema GNSS, método RTK)

O Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) é composto por um conjunto de satélites que transmitem sinais precisos para o posicionamento geográfico e engloba o sistema americano GPS (*Global Positioning System*), o russo GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), o Galileo (União Européia), o Beidou/Compass (China), além dos sistemas de aumento WAAS (*Wide Area Augmentation System - EUA*), EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), o GAGAN (*GPS Aided Geo*

Augmented Navigation -Índia) e o MSAS (*Multi-functional Satellite Augmentation System* - Japão) (PINTO *et al.*, 2013).

O posicionamento geodésico, realizado através de aparelhos receptores GNSS, pode ser realizado através de diversos métodos, inclusive pelo posicionamento relativo estático e pelo posicionamento em tempo real (RTK). No posicionamento relativo estático, dois ou mais receptor GNSS rastreiam satélites visíveis simultaneamente, por um período de no mínimo 20 minutos. Dessa forma, é possível a determinação de coordenadas tridimensionais precisas em qualquer ponto na superfície terrestre (MONICO, 2008).

No posicionamento em tempo real, são necessários pelo menos dois receptores GNSS coletando dados simultaneamente, onde um dos receptores é denominado estação de referência (base) posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e o outro receptor (receptor móvel) realiza a coleta de dados nos pontos de interesse, possibilitando a determinação da posição em tempo real (BARBOSA *et al.*, 2010).

De acordo com Oliveira (2017), visando a obtenção de correções instantâneas, o posicionamento cinemático em tempo real utiliza a tecnologia de navegação por satélite aliada a um rádio-modem ou a um telefone GSM (*Global System for Mobile Communications*), sem a necessidade de pós-processamento dos dados.

- **Determinação de altitude pelo receptor GNSS (método RTK)**

De acordo com o IBGE (2019), os receptores GNSS também podem ser utilizados para a determinação de altitudes e/ou desníveis. No entanto, a altitude obtida nesse caso está relacionada a um elipsóide de referência e não ao nível médio do mar (geóide). Portanto, torna-se necessário o cálculo da diferença entre as superfícies geoidal e elipsoidal conforme demonstra a Figura 26, com a representação geométrica tridimensional, de representação matemática simples, formada pela revolução de uma elipse em torno do eixo menor.

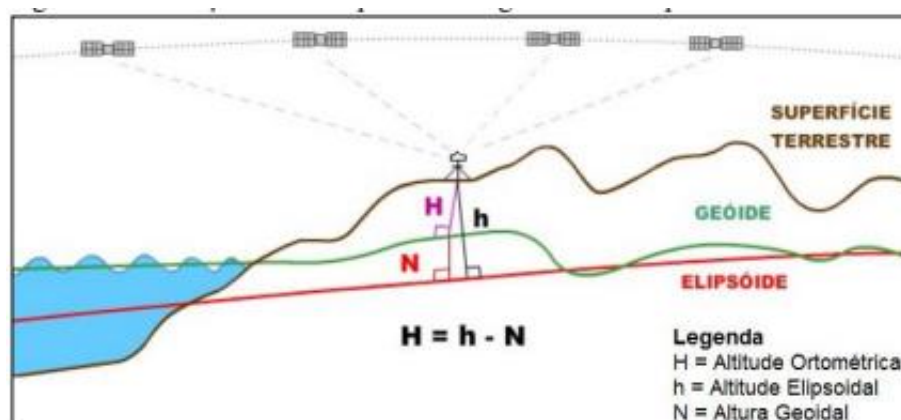


Figura 26 – Representação do Geóide, Elipsóide e Superfície Terrestre.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2019), o geóide coincide com a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra, ou seja, com o nível médio não perturbado dos mares. Além disso, a superfície geoidal tem um formato ondulatório irregular que acompanha as variações da estrutura de distribuição de massa da Terra.

A Tabela 13 apresenta os valores das coordenadas geodésicas e as altitudes ortométricas obtidas a partir da coleta de dados realizada pelo receptor GNSS, método RTK. A Figura 27 mostra em detalhe o controle de qualidade da precisão vertical, que pode ser validada pelos valores obtidos da precisão vertical. Observa-se que a precisão Vertical máxima foi de 16 mm.

Tabela 13 – Precisão das Coordenadas Geodésicas e Altitudes Ortométrica (método RTK).

PONTOS	COORDENADAS PLANIMÉTRICAS (UTM)		ALTITUDE (m)	PRECISÃO H (m)	PRECISÃO V (m)	DISTÂNCIA PARA BASE (m)
	Dir N	Dir E	RTK			
RN1	9246527,438	271082,5678	3,719	0,008	0,012	700,0
RN2	9246472,533	271210,073	2,253	0,007	0,009	878,0
RN3	9246697,951	271409,0110	1,708	0,008	0,016	995,0
RN4	9246074,700	270793,500	4,153	0,008	0,012	753,0
RN5	9246019,642	270586,5580	3,600	0,010	0,014	743,0
RN2466LE	9246745,215	270401,584	*6,238	0.004	--	--

*Altitude Geométrica inserida no receptor-base GNSS (RTK)



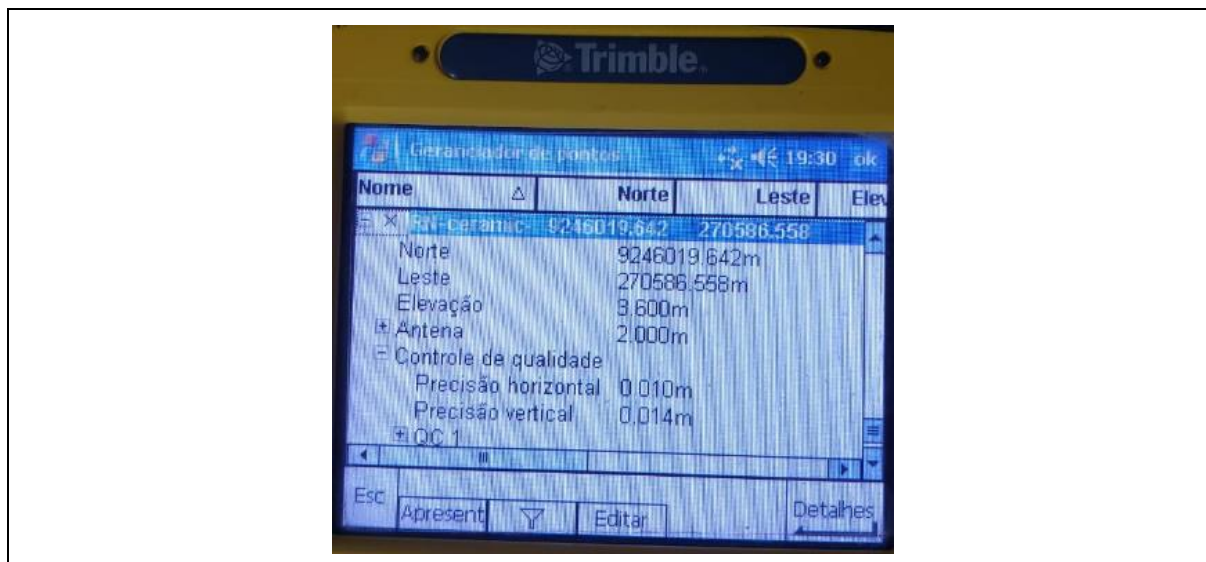


Figura 27 – Controle de qualidade (Precisão Horizontal e Vertical).

A Tabela 14 apresenta a variação da altitude entre os dados obtidos pelo Nivelamento Geométrico e pelo Receptor GNSS pelo método RTK. Os resultados encontrados comparando as altitudes obtidas pelo nivelamento geométrico e pelo receptor GNSS, método RTK, apresentaram diferença inferior a 22 milímetros.

Tabela 14 – Variação das altitudes obtidas pelo Nivelamento Geométrico e GNSS RTK.

PONTOS	COORDENADAS (UTM)		ALTITUDE (m)		DIFERENÇA (m)
	Dir N	Dir E	RECEPTOR GNSS RTK	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	
RN1	9246527,438	271082,5678	3,719	3,732	-0,013
RN2	9246472,533	271210,073	2,253	2,275	-0,022
RN3	9246697,951	271409,0110	1,708	1,724	-0,016
RN4	9246074,700	270793,500	4,153	4,172	-0,019
RN5	9246019,642	270586,5580	3,600	3,578	0,022
2466LE	9246745,215	270401,584	*6,238	6,238	

*Altitude Geométrica inserida no receptor-base GNSS (RTK)

d) Transporte de coordenadas geodésicas

Neste item são apresentados os procedimentos efetuados para o transporte de coordenadas geodésicas e altitudes ortométricas e as respectivas precisões alcançadas, conforme preconiza a Nota Técnica N° 28170/2018-MP.

Para esta etapa foi utilizado um receptor GNSS marca Trimble modelo R4 HPB450, L1/L2 + RTK de 72 canais. O equipamento foi instalado sobre o marco de referência RN-IFPB 2466LE (Figura 28) visando obter as coordenadas geodésicas para implantação da base

a ser utilizada nas medições posteriores. O tempo de rastreamento para obtenção dos resultados foi de 09 horas, 10 minutos e 45 segundos.



Figura 28 – GPS Trimble modelo R4 L1/L2 + RTK coletando dados.

Após a coleta dos dados, realizou-se o pós-processamento dos dados no Laboratório de Topografia e Geoprocessamento – LabTGeo, do Departamento de Solos e Engenharia Rural/Centro de Ciências Agrárias da UFPB. O *software* utilizado para processamento e ajustamento foi o Trimble Business Center (TBC), que apresenta ainda funções de ajustamento de rede, mapeamento topográfico e controle de qualidade dos dados GNSS (RTK e pós processado), tendo capacidade de pós-processar dados GPS das portadoras L1 e L2 (ciclo completo) e código C/A na L1.

No processamento adotou-se como DATUM o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000), conforme preconiza a Resolução PR 1/2005 (IBGE, 2019).


As coordenadas da Referência de Nível (RN-IFPB 2466LE) foram obtidas com correção através da RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.

A utilização da tecnologia do sistema GNSS provocou uma verdadeira revolução, nessa última década, nas atividades de navegação e posicionamento. Os trabalhos geodésicos

e topográficos passaram a ser realizados de forma mais rápida, precisa e econômica. Tais vantagens vêm melhorando cada vez mais, na medida em que os equipamentos, os métodos de observação e as técnicas de processamento evoluem. É nesse contexto que se insere a RBMC.

As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade.

O processamento dos arquivos da BASE (RN-IFPB 2466LE) foi realizado a partir das coordenadas e das Estações RBMC localizadas em Campina Grande-PB (Figura 29) e em Natal-RN (Figura 30), a partir do software TBC – Trimble Business Center™. As precisões alcançadas foram sempre melhores que as estabelecidas na “Normas Técnicas Para Georreferenciamento de Imóveis Rurais”, elaboradas pelo INCRA.



RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

Relatório de Informação de Estação

PBCG - Campina Grande

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
 Data: 03/04/2008
 Atualização: 20/10/2009 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: CAMPINA GRANDE
 Ident. da Estação: PBCG
 Código SAT: 92447
 Código Internacional: 41656M001

2. Informação sobre a localização

Cidade: Campina Grande
 Estado: Paraíba
 Informações Adicionais: Cilíndrico de concreto medindo 1,40 m de altura e 0,20 m de diâmetro, elevado sobre plataforma de concreto medindo 0,80 m x 0,80 m, por 0,20 m de altura. Possui no topo um pino de centragem forçada. Na laje superior do bloco CM pertencente a coodenação de Engenharia. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - Rua Aprígio Veloso, 882 Bairro Bodocongó.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 07° 12' 49,24013"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 35° 54' 25,69568"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	534,100 m	Sigma:	0,004 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.125.899,4249 m	Sigma:	0,003 m
Y:	-3.711.505,6292 m	Sigma:	0,002 m
Z:	-795.650,6201 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	9.201.606,164 m		
UTM (E):	178.917,588 m		
MC:		-33	

Figura 29 – Descritivo da Estação PBCG – Campina Grande.

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
 Data: 01/01/2009
 Atualização: 17/11/2017 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: NATAL
 Ident. da Estação: RNNA
 Código SAT: 96500
 Código Internacional: 41668M001

2. Informação sobre a localização

Cidade: Natal
 Estado: Rio Grande do Norte
 Informações Adicionais: Cilindro de concreto medindo 1,80 m de altura e 0,30 m de diâmetro, apoiado sobre uma plataforma de dimensões 0,55 m x 0,60 m x 0,40 m, engastada numa viga de concreto no terraço do andar térreo do prédio da estação LBI. Possui no topo um pino de centragem forçada padrão RBMC e em sua face uma chapa de identificação estampada SAT 96500. No canto SW da laje superior do prédio da estação LBI e a 10 m SW da antena LBI, no prédio do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no Campus Universitário da UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rua Carlos Serrano - 2073, Bairro Lagoa Nova.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas		
Latitude:	- 05° 50' 10,10620"	Sigma: 0,001 m
Longitude:	- 35° 12' 27,74853"	Sigma: 0,001 m
Alt. Elip.:	45,965 m	Sigma: 0,006 m
Coordenadas Cartesianas		
X:	5.184.572,5246 m	Sigma: 0,005 m
Y:	-3.658.358,2488 m	Sigma: 0,003 m
Z:	-644.238,6462 m	Sigma: 0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)		
UTM (N):	9.354.429,674 m	
UTM (E):	255.542,604 m	
MC:	-33	

Figura 30 – Descritivo da Estação RNNA – Natal.

As etapas do processamento foram as que se seguem:

- i) Transferência automática dos arquivos brutos dos receptores GNSS para o computador através de cabo de comunicação (USB);
- ii) Importação dos arquivos brutos usados no software TBC;
- iii) Introdução das coordenadas do RN-IFPB 2466LE em SIRGAS2000;
- iv) Processamento e ajustamento dos vetores;
- v) Ajustamento de rede;
- vi) Geração de relatórios e exportação de coordenadas.

O ajustamento do RN-IFPB 2466LE foi realizado pelo software TBC, gerando uma triangulação conforme mostra a Figura 31. Para a realização desta atividade utilizou-se os dados GNSS da RBMC de duas estações localizadas nos municípios de Campina Grande (Anexo II) e Natal (Anexo III).

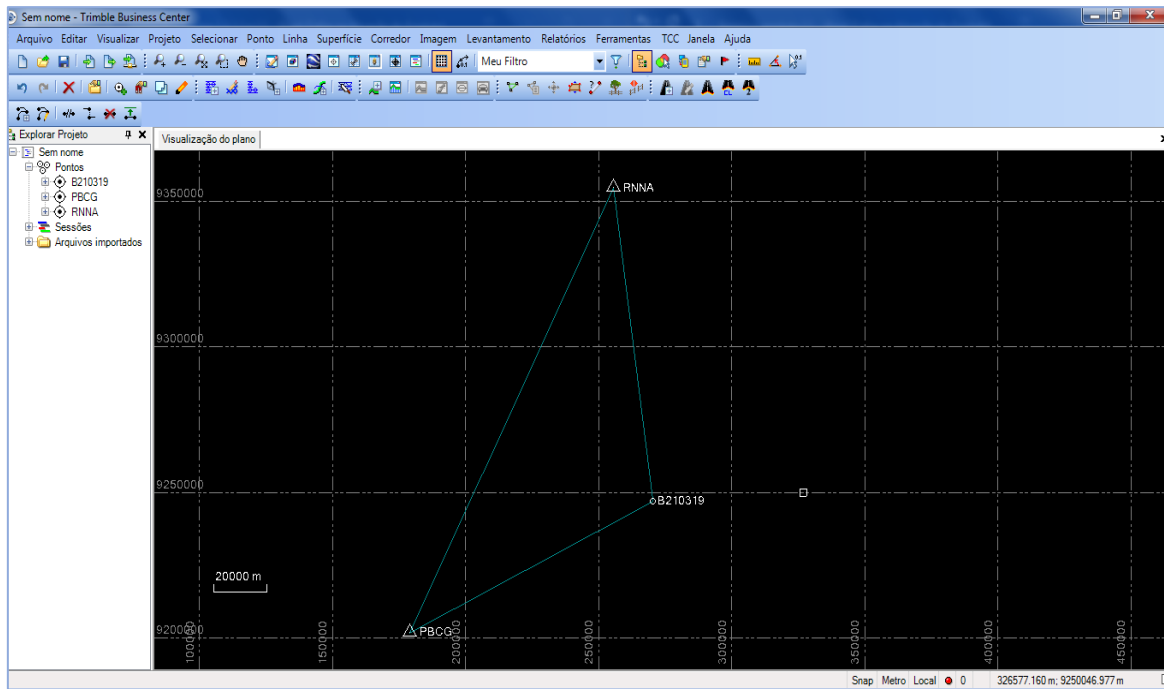


Figura 31 – Triangulação do processamento e ajustamento da linha de base a partir do software TBC.

O resultado do processamento e ajustamento da linha de base (Anexo IV), mostra a eficiência do equipamento GPS/GNSS, que forneceu os valores da posição do RN-IFPB 2466LE com as seguintes Coordenadas UTM: Direção Leste 270.401,584 m e Direção Norte 9.246.745,215 m, onde esses valores foram adotados como nova referência com precisão horizontal de 0,002 m e precisão vertical de 0,006 m. A Figura 32 mostra um resumo do relatório do Processamento da Linha de Base realizada pelo software Trimble Business Center.

Informações do Projeto		Sistema de coordenadas	
Nome:		Nome:	UTM
Tamanho:		Datum:	SIRGAS (BRASIL) 2000
Modificado:		Zona:	25 South (33W)
Fuso horário:		Geóide:	
Número de referência:		Datum vertical:	
Descrição:			

Relatório de processamento das linhas de base

Resumo do processamento

Observação	De	Para	Tipo de solução	Precisão de H (Metro)	Prec. V (Metro)	Azimute geodésico	Distância do elip. (Metro)	ΔAltura (Metro)
PBCG --- B210319 (B2)	PBCG	B210319	Fixo	0,002	0,006	64°05'38"	101958,222	-532,431
RNNA --- B210319 (B3)	RNNA	B210319	Fixo	0,003	0,006	172°23'11"	108672,667	-44,313

Figura 32 – Resumo do Relatório de Processamento da Linha de Base – RN IFPB - 2466LE.

Com o ajustamento das Coordenadas da Base implantada no RN-IFPB 2466LE, utilizou-se o receptor GNSS e o método RTK para levantamento e coleta dos dados para geração dos pontos de controle (Tabela 15), com os valores das coordenadas e as elevações com suas respectivas precisões. Para obtenção dos valores das altitudes correspondentes foi utilizado o valor da posição ajustada pelo método de pós processamento, bem como o valor da altitude Geométrica de 6,238 m, que foi transportada do RN 2466L. Observa-se que o Ponto ct 14 foi desprezado, uma vez que apresentara precisão acima de (20 mm).

Tabela 15 – Coordenadas Geodésicas e Altitudes Ortométricas.

Pontos	Direção Leste (m)	Direção Norte (m)	Elevação (m)	Precisão H (m)	Precisão V (m)
ct01	270037,332	9246620,412	8,259	0,005	0,014
ct02	269972,931	9246248,202	6,371	0,005	0,014
ct03	269973,394	9246136,961	4,894	0,005	0,014
ct04	270277,381	9246378,874	3,511	0,005	0,013
ct05	270470,345	9246154,875	3,256	0,005	0,012
ct06	270615,736	9246218,15	4,04	0,008	0,019
ct07	270066,116	9245718,599	2,735	0,005	0,013
ct08	270332,091	9245920,822	4,084	0,005	0,013
ct09	270607,021	9245695,05	3,252	0,007	0,017
ct10	270437,517	9245888,831	4,125	0,006	0,013
ct11	270379,551	9246627,008	5,474	0,005	0,008
ct12	270364,572	9246562,063	6,404	0,005	0,009
ct13	270325,306	9245712,998	3,281	0,007	0,017
ct14	271064,027	9245726,374	3,005	0,007	0,025
ct15	270757,549	9245601,733	3,484	0,005	0,015
ct16	271273,110	9245802,486	6,612	0,005	0,015
ct17	271048,492	9246549,211	5,420	0,006	0,012
ct18	271193,020	9246509,854	2,196	0,005	0,015
ct19	270944,286	9246621,351	6,642	0,006	0,015
ct20	270842,419	9246687,334	6,503	0,005	0,012
ct21	270671,098	9246492,864	4,402	0,005	0,013
ct22	270770,082	9246335,297	4,898	0,006	0,014
ct23	270287,877	9246650,557	6,080	0,007	0,016
ct24	270228,677	9246657,427	7,331	0,007	0,015
ct25	270136,448	9246596,367	6,417	0,007	0,013
ct26	270247,215	9246442,62	5,105	0,006	0,014
ct27	270038,253	9246381,296	5,743	0,005	0,012
ct28	270252,283	9246560,774	7,232	0,005	0,013
ct29	270416,813	9246378,191	4,310	0,005	0,012
ct30	270794,158	9246058,616	3,355	0,005	0,012
ct31	270640,316	9245862,641	3,876	0,007	0,016
ct32	270004,668	9245605,043	3,475	0,006	0,015

e) Pontos de Controle para Processamento Fotogramétrico

Este produto apresenta a localização (Figura 33) dos 32 pontos de controle que foram utilizados para apoio ao processamento fotogramétrico. Os referidos pontos foram coletados a partir do receptor GNSS, pelo método RTK.

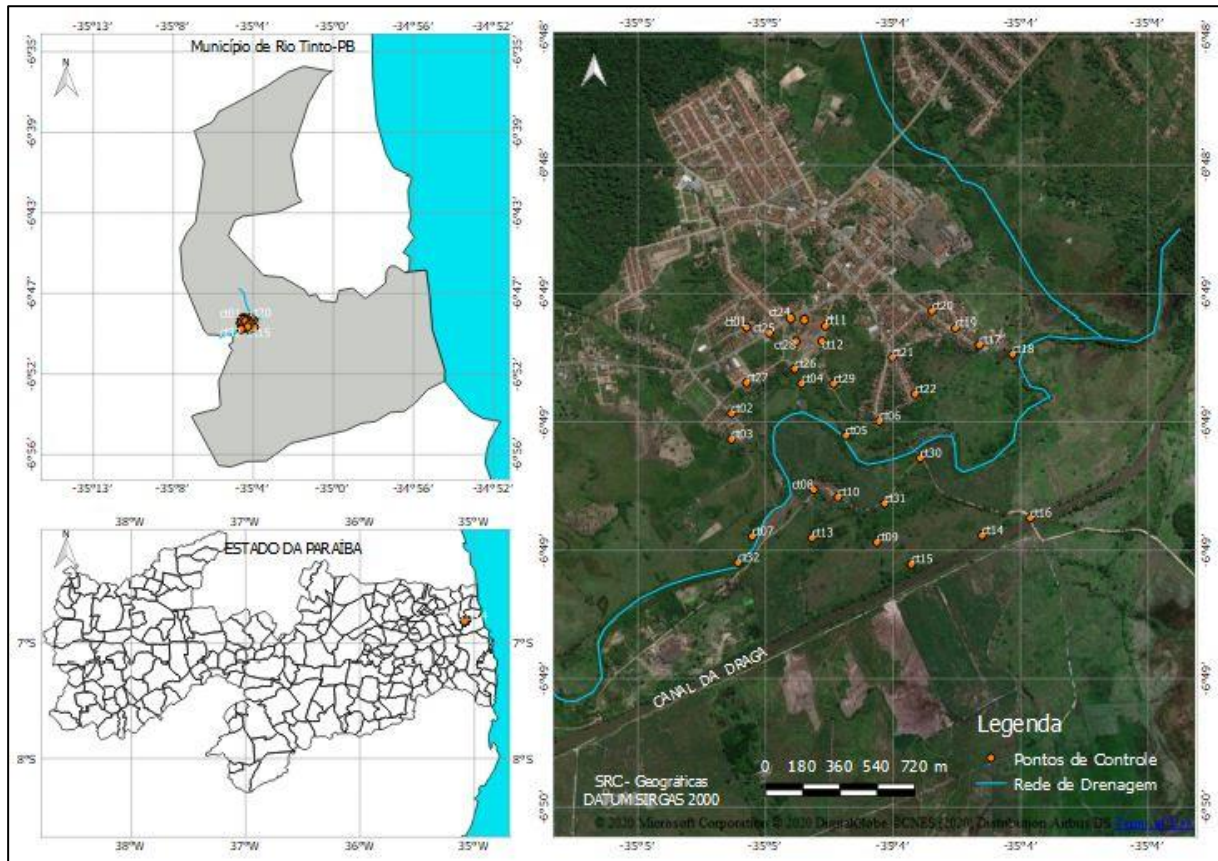


Figura 33 – Mapa de Localização dos pontos de controle.

f) Nuvem de pontos 3D para Geração de MDT e LPM

Este produto apresenta o primeiro conjunto de pontos que foram utilizados para geração do primeiro MDT do trabalho. Trata-se de um conjunto de pontos que foram utilizados em conjunto com os dados provenientes dos produtos 1.2 e 1.3, como suporte para geração da LPM.

O Apêndice IV mostra a tabela com 220 pontos coletados a partir do receptor GNSS, método RTK. Em virtude das dificuldades encontradas *in loco*, não foi possível realizar coleta de dados suficientes para geração deste resultado, uma vez que as áreas são de difícil acesso, pertencerem a particulares e serem ocupadas com o plantio da cultura de Cana de Açúcar, além de serem áreas alagadas ou com mangue (Figura 34).

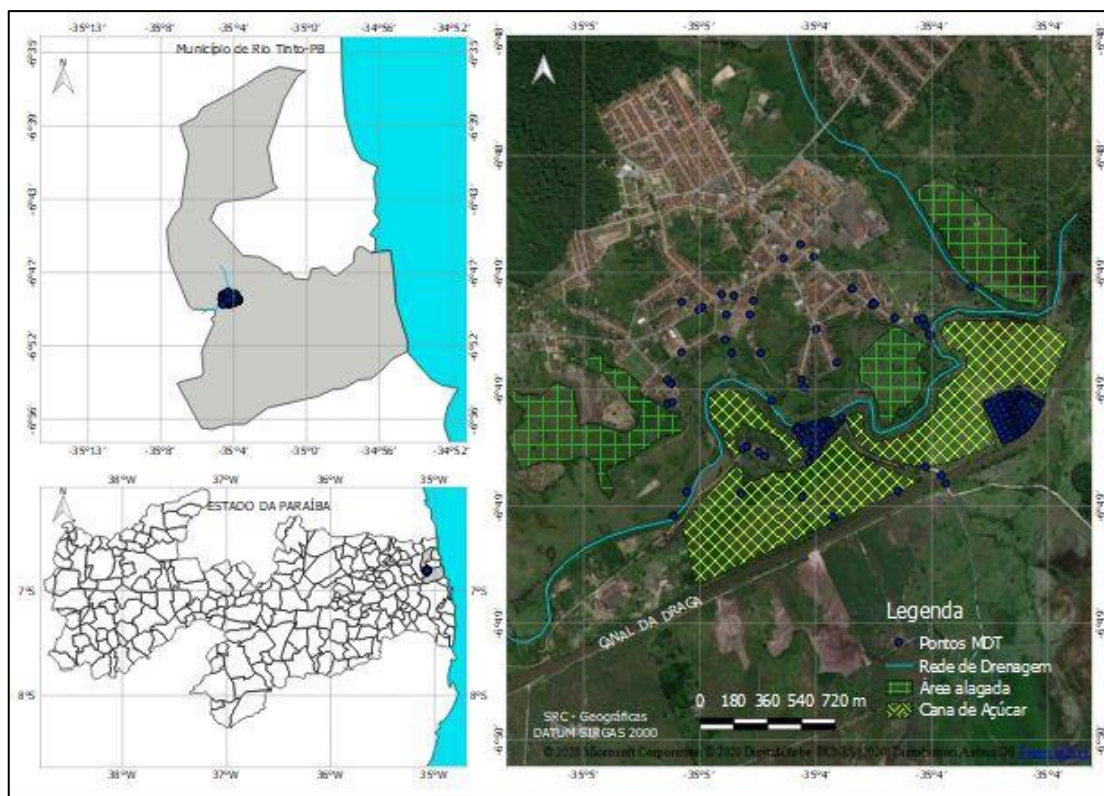


Figura 34 – Localização dos pontos coletados para geração do MDT.

3.3- DIFICULDADES ENCONTRADAS

As principais dificuldades encontradas para coleta de dados do Nivelamento Geométrico e com o sistema GNSS foram principalmente devido os pontos serem de difícil acesso, como: áreas alagadas e de mangues, áreas com vegetação de grande porte e principalmente as áreas com vegetação de pequeno porte ocupadas com a cultura de cana de açúcar, as quais estão inseridas em propriedades particulares.

Devido a plantação da cultura da cana de açúcar, a equipe de campo não teve acesso a coleta de dados em grande parte da área de estudo, uma vez que os proprietários não autorizaram a entrada das equipes, alegando que não poderiam ter prejuízo. Nesse sentido, com a impossibilidade de realizar uma coleta suficiente de dados, não foi possível gerar o MDT a partir do uso dos equipamentos, tais como Estação Total e Receptor GNSS, sendo essa atividade realizada com o Drone.

CAPÍTULO 4 – LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

4.1– INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as atividades e resultados referentes à Meta 2, constante do Plano de Trabalho SPU-UFPB, cujo objetivo específico é a realização de transporte de coordenadas geodésicas e altitudes, referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), visando posterior obtenção de pontos de controle para processamento fotogramétrico e geração de MDT e LPM.

4.2 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o surgimento dos VANTs (Veículo Aéreo não Tripulado, mais conhecidos como drones) o processo fotogramétrico ressurgiu com um novo olhar no processo de coleta de dados. Com o fácil acesso à tecnologia, a possibilidade de imagear áreas que antes eram onerosas para levantamento de dados tornou-se uma realidade, e o seu uso tornou-se imprescindível no processo de planejamento e gestão do espaço terrestre.

Nesse contexto, este documento tem como finalidade relatar as atividades que foram desenvolvidas pela equipe que executou o levantamento aerofotogramétrico, em atendimento ao Termo de Execução Descentralizada n. 05/2018, utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado, descrevendo as atividades referentes à etapa/meta 3 – Levantamento Aerofotogramétrico, que tem como produto final o ortomosaico, o MDT, o MDS e a LPM preliminar.

4.3 - PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Para o levantamento foi adotada uma aeronave de asa rotativa, desenvolvido pela empresa DJI, modelo Phantom4 Pro, classificado como RPA Classe 3. Suas principais características são: envergadura de 35 cm, alcançando velocidade de cruzeiro de 10 km/h, com peso total de 1,38 kg, com capacidade de operar a uma distância de até 5 km da base, utilizando bateria de LiPo de 4 células, 15,2 V e 5.350mAh, com autonomia de 20 minutos de voo, tempo suficiente para recobrir até 20 ha por voo, voando a 120 m de altura e recobrimento longitudinal e lateral das fotos em 80%.

Para captura das imagens o Phantom4 Pro (Figura 35) é equipado com uma câmera digital de pequeno formato não métrica OEM, de 12,4 Mpx (4000 x 3000 pixels), sensor CMOS de 1/2,3", distância focal de 20 mm e abertura f/2,8, com estabilização óptica, velocidade de obturação máxima de 1/8000 s, com cartão de memória de 32 Gb.



Figura 35 – VANT utilizado nas coletas de imagem aéreas: DJI Phantom 4 PRO.

A metodologia utilizada na aquisição e processamento dos dados, foi dividida em três etapas e baseou-se em Silva, Souza *et al.* (2014).

A primeira etapa é a de planejamento de voo e envolveu a definição da área a ser sobrevoada, e em seguida verificação das condições necessárias para realização do voo, que consistiu na previsão meteorológica para o dia de execução do voo, definição do horário de realização do voo com o objetivo de minimizar a existência de sombras (janela de voo) e requerimento de autorização de voo ao DECEA.

Com todas as condições de voo garantidas, passaram a ser desenvolvidos os planos de voo (Figura 36) a serem executados pelo piloto automático do VANT, com base nos seguintes dados de entrada:

- Altitude de voo = 100 m;
- Recobrimento lateral = 80%;
- Recobrimento frontal = 80%;
- Direção de voo longitudinal em relação à área.



Figura 36 - Faixas de voo planejados.

A segunda etapa foi a da execução propriamente dita dos voos, a partir da checagem da bateria, do cartão de memória e da garantia de comunicação da estação de controle com a aeronave. Na hipótese de detecção de algum problema que inviabilizasse o levantamento, por medida de segurança, a operação era cancelada.

Após essa verificação, iniciava-se o aplicativo de controle da aeronave, fazendo-se a checagem de voo e a decolagem automática, passando em seguida a execução do plano de voo elaborado na etapa anterior. Vale salientar que durante essa fase o VANT opera de forma automática, mas não autônoma, sendo possível a intervenção do operador a qualquer momento. Toda a operação do VANT era controlada pela estação de solo, a qual recebia em tempo real o vídeo da câmera da aeronave e os dados de telemetria (altitude, velocidade, localização e carga da bateria).

Após executar o plano de voo a aeronave retorna à base e realiza o pouso automático, mas é recomendável que o piloto assuma o comando e realize o pouso manualmente por segurança. Sendo realizados todos os voos, foram observados os dados de execução dos voos, conforme descritos no Quadro 7.

Quadro 7 – Características dos voos realizados.

Variáveis	Valores médios observados
Resolução Espacial (GSD)	0,2 m
Velocidade Média	7 m/s
Área Média	24 ha
Distância percorrida média	6,4 km
Número de linhas (faixas)	12 faixas
Número médio de fotografias	230 fotos por voo

A terceira e última etapa foi o pós voo. Após a finalização de cada voo, foi necessário avaliar se a trilha de voo foi gravada sem interrupções, bem como verificar se durante o voo, devido ao vento, o VANT não se distanciou demasiadamente da linha planejada, causando perda no recobrimento lateral das fotografias. Com a aquisição de todos os dados, fez-se necessário gerenciar os dados obtidos de modo criterioso para garantir a integridade do resultado final.

4.4 - RESULTADOS

a) Aerolevanteamento com Aeronave Remotamente Pilotada

As imagens coletadas seguem anexas em arquivos .jpg, classificadas por voo, conforme ilustrado na Figura 37. Foram planejados 28 voos em um sistema de malha, sendo executados apenas 13. Desses 13, alguns foram descartados pela baixa qualidade do resultado ou por estarem fora da área de interesse (que foi definida com clareza depois). De forma que foram utilizados seis, o suficiente para cobrir a área de estudo. Entre os seis, dois foram refeitos para inserção de novos pontos de controle.

A média de imagens/voo foi de 230. Portanto, foram coletadas aproximadamente 3.000 imagens, e efetivamente utilizadas 1.380 imagens.

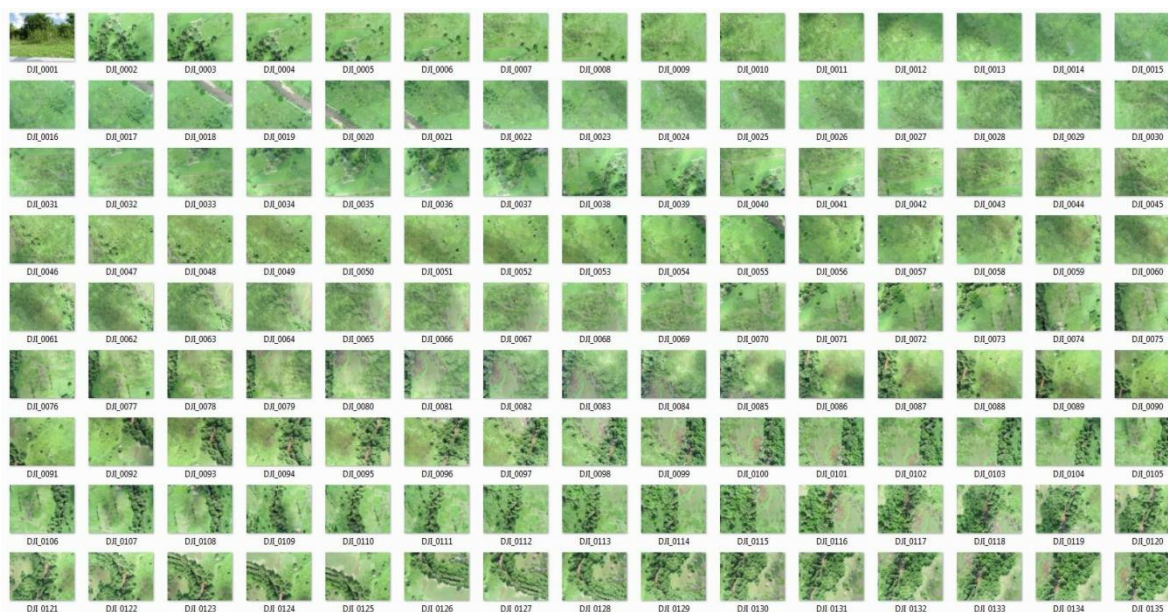


Figura 37 – Exemplo das imagens áreas coletadas.

b) Ortoimagens, LPM, MDT e MDS

Para geração do mosaico ortoretificado foram utilizadas as fotografias geradas pelo voo aerofotogramétrico, com representação do terreno planificado (ortoimagens), e o relevo existente (MDT e MDS).

O processamento aerofotogramétrico exige critérios de precisão e acurácia bastante rígidos, uma vez que os produtos gerados no final do processo foram utilizados como dados oficiais, que necessitam de um grau de fidelidade próximo a representação real. Para que essas premissas sejam atendidas, foram adotados procedimentos de controle durante o processamento, conforme definidos pela norma PEC/PCD (Padrões de Exatidão Cartográfica previstos no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984).

Para tal controle torna-se necessária a utilização de pontos de controle que confirmam o georreferenciamento do modelo com base em dados precisos de GNSS. Porém, devido aos condicionantes locais, não foi possível a definição de pontos de controle distribuídos regularmente na área em todos os voos executados. Dessa forma, optou-se pelo processamento em um bloco único de forma a compartilhar os pontos de controle.

Tal etapa exigiu mais tempo de processamento, mas mostrou-se bem satisfatório com os resultados alcançados.

c) Processamento dos dados

A partir das imagens coletadas, iniciou-se a fase de processamento. Para tanto foram utilizados 3 (três) computadores (Processador Intel i5 2,2GHz, Memória RAM 12Gb, Placa

de vídeo dedicada 2Gb) e o *software Agisoft PhotoScan Professional* versão 1.4.1.5925 (AGISOFT, 2018), em um fluxo de trabalho composto pelo alinhamento das câmeras, cadastro dos pontos de controle, densificação da nuvem de pontos, criação de modelo de elevação da superfície (MDS), criação de ortomosaico, classificação dos pontos de terreno na nuvem de pontos, criação de modelo de elevação do terreno (MDT) e geração da LPM.

d) Pontos de controle (PCT)

Os pontos de controle (PCT) são coletados em solo e precisam ser identificados nas imagens aéreas obtidas pelo drone, como objetos, alvos ou detalhes no terreno. São utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno. Ou seja, são pontos de referência no solo utilizados no pós-processamento das imagens para aumentar a precisão dos produtos finais gerados.

A Figura 38 ilustra exemplos de pontos de controle materializados em campo durante a coleta de dados com GNSS e utilizados no processamento aerofotogramétrico.



Figura 38 - Exemplo de materialização de pontos de controle utilizados no processamento.

e) Modelo Digital de Superfície (MDS)

O MDS consiste é uma representação superficial que relaciona a altitude do terreno à uma cor do pixel de forma a criar uma graduação em cores do relevo do local, considerando todos elementos existentes como edificações, árvores etc.

É imprescindível sua construção durante o processamento aerofotogramétrico porque é a partir desse modelo que é gerado um ortomosaico de boa qualidade.

A Figura 39 apresenta o MDS resultante do processamento.

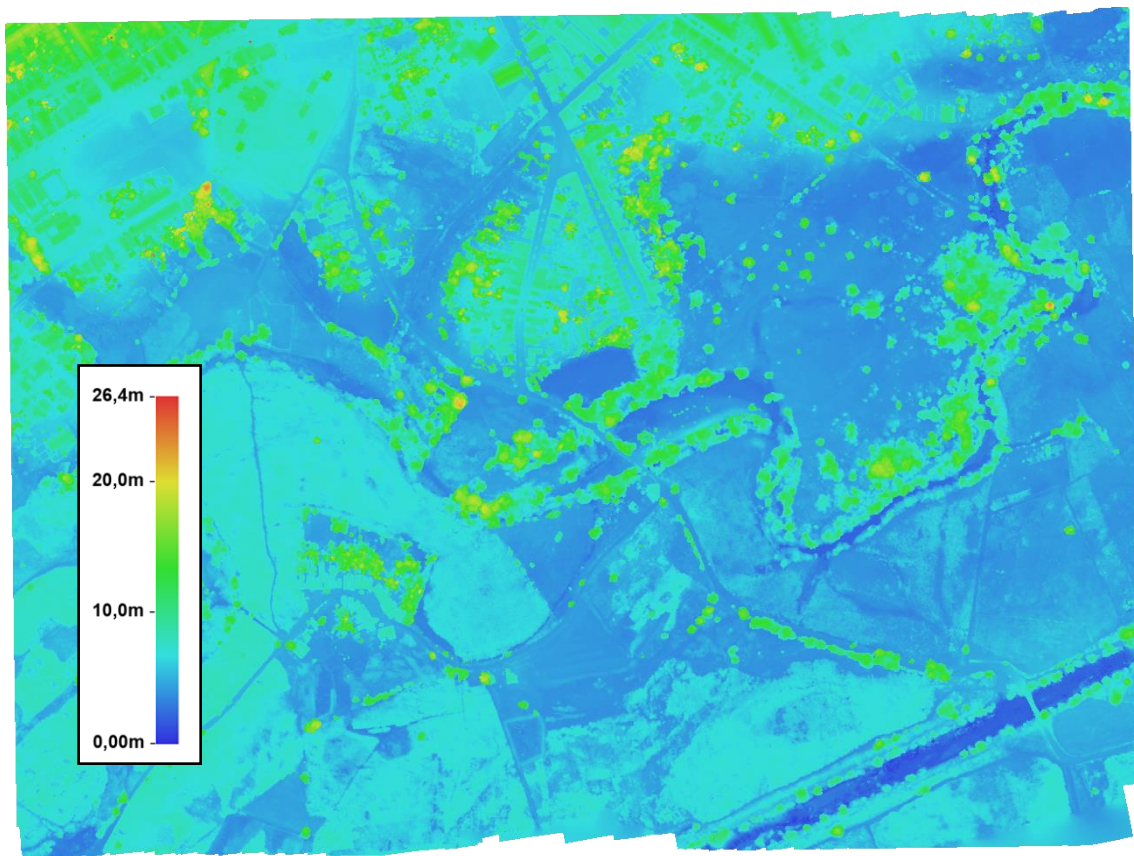


Figura 39 - MDS resultante do processamento aerofotogramétrico.

f) Ortomosaico

O ortomosaico consiste na criação de uma imagem montada a partir de várias ortofotos, mas como os drones não coletam as imagens em câmeras quadro, o processamento e corte das imagens em projeção perpendicular ao plano do terreno é imprescindível na sua construção.

Esse processamento consiste em projetar de forma ortogonal ao plano de projeção as fotografias geradas de uma perspectiva central. Do contrário, cada imagem pode apresentar uma ou mais distorções, implicando na queda de qualidade geométrica da região e inviabilizando sua utilização apropriada como base cartográfica.

Além disso, a representação de uma fotografia também sofre um efeito chamado “tombamento”, ou paralaxe. Assim, o procedimento de ortorretificação é necessário para apresentar fidedignamente uma parte da superfície terrestre através de uma imagem georreferenciada, com projeção ortogonal, e eliminar distorções referentes aos sistemas de lentes e variação do relevo.

Dessa maneira, obtêm-se o ortomosaico, que já é o resultado final dessa transição cônica oriunda do clique fotográfico para a representação cartográfica ortogonal (Figura 40), com alta qualidade espacial e com muita precisão.



Figura 40 - Ortoimagem resultante do processamento aerofotogramétrico.

g) Modelo Digital do Terreno (MDT)

A principal diferença entre os modelos de elevação, é que no MDT a indicação de altitude é relativa ao terreno, enquanto no MDS essas cotas sofrem influência da vegetação e das edificações, como ilustra a Figura 41.

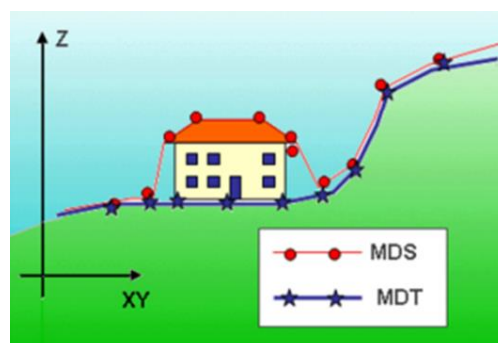


Figura 41 - Ilustração mostrando a diferença entre o MDS e o MDT.

O MDT detalha apenas o terreno e para gerá-lo é necessário um processo de filtragem em relação ao MDS, que nada mais é que um processo onde se excluem os elementos acima do solo. Esse procedimento pode ser realizado de forma automática por meio de algoritmos ou de forma manual, onde o operador delimita os objetos a serem filtrados. No caso em estudo, foi feito um processamento automático com revisão e correção manual.

É importante ressaltar que para realizar a filtragem é necessário que se tenha informações tanto do objeto como do terreno em seu entorno, ou seja, em regiões de mata densa não é possível obter informações do solo, pois a câmera fotografa apenas as copas das árvores, sendo essa uma das limitações da fotogrametria.

A Figura 42 apresenta o MDT encontrado após o processamento aerofotogramétrico.

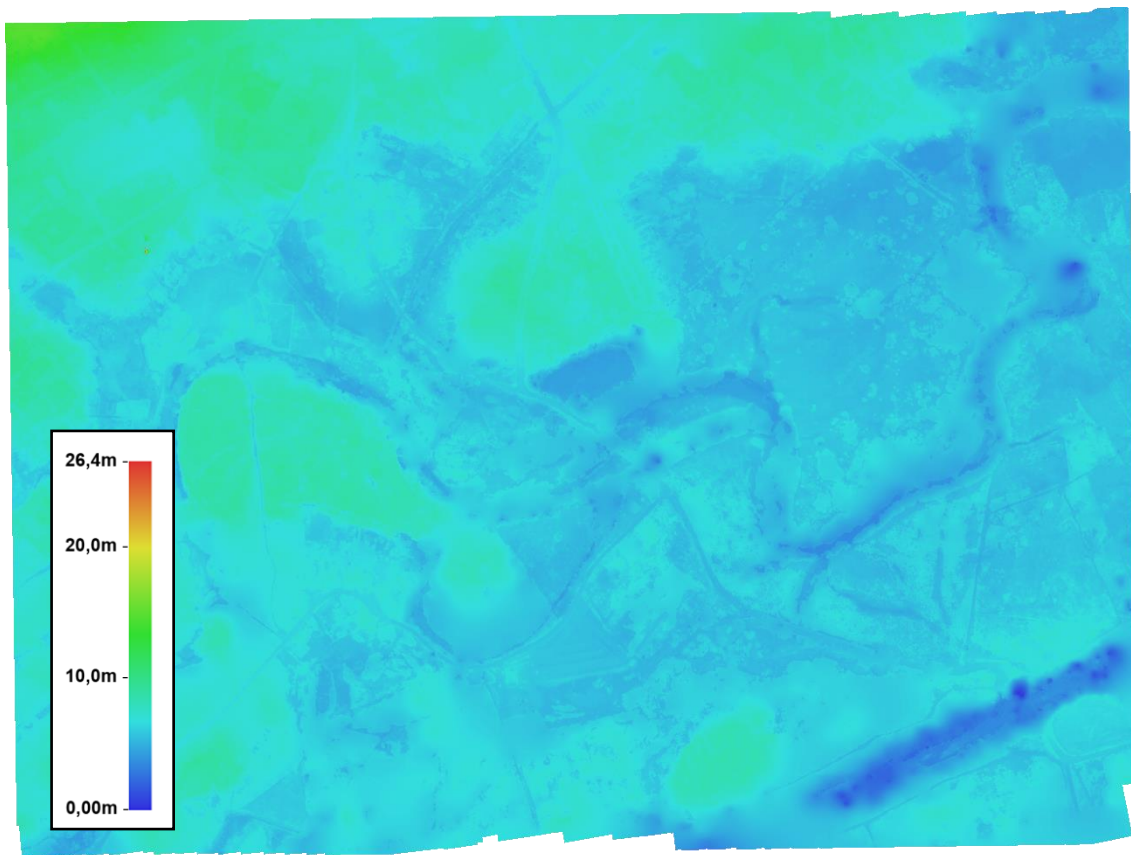


Figura 42 - MDT resultante do processamento aerofotogramétrico.

h) LPM

Para geração da LPM foi utilizado como referência o Modelo Digital do Terreno proveniente do processamento aerofotogramétrico. Nesse processo foram geradas as curvas de nível, através de nuvens de pontos com referências X, Y e Z, representando as variações altimétricas da área mapeada. Para isso foi utilizado o *Software Agisoft Metashape*.

A Figura 43 apresenta a cota de valor 1,66 m (em azul – Linha do Preamar) e um buffer de 33 m (em vermelho – Limite dos Terrenos de Marinha), tanto no canal (atual leito do Rio Mamanguape) como no antigo leito do Rio Mamanguape.

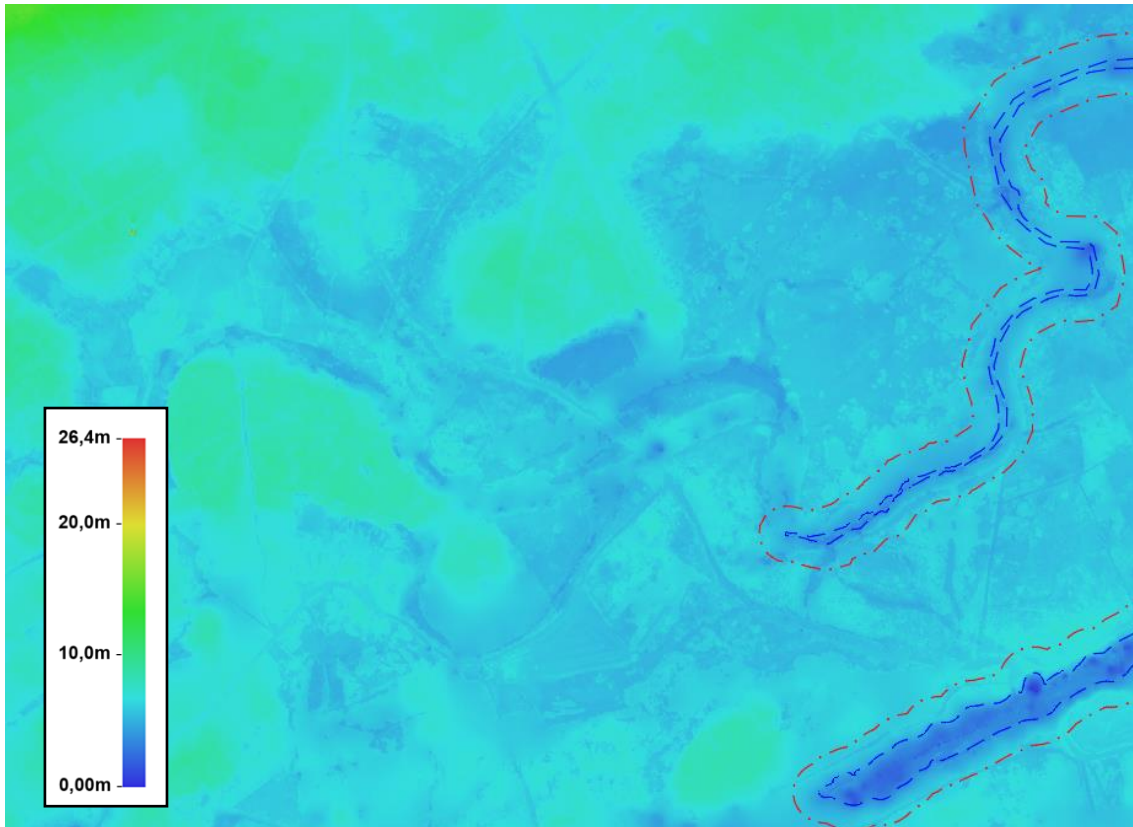


Figura 43 - LPM resultante do processamento aerofotogramétrico.

4.5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma tecnologia com aplicações bem definidas para os processos de aerofotogrametria com VANT, se mostrou eficiente, mesmo apresentando algumas dificuldades durante o planejamento, as quais devem ser evitadas em trabalhos deste tipo.

Por se tratar de uma área de grandes dimensões (182,3822 ha), a definição dos planos de voo exigiu um particionamento da área, de modo a diminuir a desproporcionalidade nas áreas de execução dos voos e permitir adaptar o modelo de aeronave escolhida, pois em um equipamento gerenciado por sinal de rádio, a quantidade de sinais similares transmitidos em regiões urbanizadas pode prejudicar a comunicação.

Além disso, a distribuição dos PCT foi revisada em algumas situações para garantir que fossem visíveis nas imagens aéreas, e assim serem bem avaliadas pela comparação com as coordenadas do levantamento com GNSS. Apesar de todas as dificuldades encontradas, o potencial de utilização da plataforma VANT na obtenção do ortomosaico foi evidente.

De acordo com as precisões alcançadas pelos produtos gerados a partir de um levantamento aerofotogramétrico com plataforma VANT, a norma PEC-PCD define que os dados possam ser utilizados em cartas topográficas na escala 1:900. Tal nível de acurácia permite sua utilização no processamento para geração de modelos digitais da superfície e do terreno. E ainda mais, os resultados possibilitam que outros levantamentos aerofotogramétricos como esses possam fornecer material de qualidade para fins cadastrais, como cartas municipais utilizadas em gestão urbana ou levantamentos de áreas extensas, com agilidade e eficiência.

Recomenda-se, assim, que futuros trabalhos sejam focados na comparação das variáveis envolvidas no processo em relação aos resultados alcançados. Torna-se importante avaliar como o aumento de PCT ou sua distribuição pode influenciar na acurácia do ortomosaico, ou ainda, como os elementos de produtividade durante o processo influenciam na qualidade posicional, como o recobrimento das imagens aéreas ou a velocidade da aeronave durante o voo.

CAPÍTULO V – VALIDAÇÃO

A validação das metodologias empregadas constitui um produto da Meta 4 e foi apresentada juntamente com o detalhamento de cada etapa do projeto, nos capítulos anteriores.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta uma compilação das conclusões apresentadas nos capítulos anteriores. No tocante à determinação da cota básica (Capítulo 2), o monitoramento realizado nos rios mostrou que a influência da maré, durante o ano de 2019, atingiu as proximidades do ponto de monitoramento ‘Cerâmica’, com uma cota média de 1,59 m onde houve uma oscilação de 5 cm devido à maré (conforme item 4.10.2 da ON-GEADE-002/2001). Por meio de análises de correlação, foi estabelecida uma relação entre alturas de água no marégrafo do Porto de Cabedelo e a influência da maré no rio Mamanguape que margeia a cidade de Rio Tinto. Tais análises foram propostas de modo a gerar estimativas da influência da maré em 1831, as quais indicaram que a cota básica de 1831 seria 1,66 m. Apesar do desempenho satisfatório da metodologia para o cenário atual (vide Capítulo 2), a incerteza na estimativa apresentada se torna significativa devido às alterações hidro-morfológicas impostas pelo desvio do rio Mamanguape após 1831, conforme discutido no Capítulo 2.

Em virtude das restrições orçamentárias relacionadas à aquisição de equipamentos, não foi possível desenvolver estudos complementares que possibilitassem simular cenários diferentes daquele encontrado atualmente e mais próximos das condições existentes em 1831. Nesse sentido, recomenda-se fortemente a realização de estudos complementares visando compensar a interferência que o canal impõe ao avanço da maré no rio Mamanguape. Dentre os estudos possíveis, destaca-se o estudo de solos visando identificar locais além da LPM identificada que já estiveram em ambiente de mangue.

Recomenda-se também, conforme discutido também no Capítulo 2, uma revisão do texto da ON-GEADE-002/2001 no sentido de eliminar a possibilidade de múltiplas interpretações, principalmente em relação aos processos que interferem na determinação da cota básica e, portanto, da LPM.

Em relação ao Capítulo 3 pode-se concluir que a realização do Nivelamento Geométrico, comparando o desnível entre a cota ortométrica oficial de partida do marco do IBGE RN2466L e os demais marcos materializados para os pontos de apoio, pode-se observar

que os desníveis obtidos com o nivelamento geométrico executado nos trechos, apresentaram resultados relevantes e em conformidade com a NBR 13.333. O Nivelamento e o Contranivelamento nos trechos foram: i) Para o Trecho compreendido entre o marco do IBGE RN 2466L até o RN 2466LE, não foi encontrado erro e a distância percorrida foi de 21 m; ii) Para o trecho compreendido entre o marco do IBGE RN 2466LE até o RN 4, foi obtida uma precisão de 0,003 m em uma distância percorrida de 894 m; iii) Para o trecho compreendido entre o marco do IBGE RN 2466LE até o RN5, foi obtida uma precisão de 0,001 m em uma distância percorrida de 1127 m; iv) Para o trecho compreendido entre o marco do IBGE RN 2466LE até o RN1, foi obtida uma precisão de 0,004 m em uma distância percorrida de 859 m; v) Para o trecho compreendido entre o marco do IBGE RN 2466LE até o RN2, foi obtida uma precisão de 0,005 m em uma distância percorrida de 1043 m e vi) Para o trecho compreendido entre o marco do IBGE RN 2466LE até o RN3, não foi encontrado erro em uma distância percorrida de 1318 m.

No tocante ao Sistema GNSS (Capítulo 3), conclui-se que para o transporte de coordenadas, cujos resultados são apresentados no Anexo IV, é notável que os valores referentes ao PDOP, ao número de satélites das constelações GPS e GLONASS, aos desvios padrões, as distâncias das linhas de base e o tipo de solução foram satisfatórios para as linhas de base.

Observa-se que as linhas de bases geradas pelo receptor GNSS de frequência dupla (L1, L2) compreendida entre o RN 2466LE até a RBMC-PBCG e RN 2466LE até a RBMC-RNNA alcançaram os valores de PDOP abaixo de 1,845 e o quantitativo de satélites se mostrou sempre igual ou superior a 19 (dezenove) em relação as constelações GPS e GLONASS.

Além disso, observando o tipo de solução obtida nota-se que todos os vetores tiveram a solução com ambiguidades resolvidas, apresentando soluções do tipo Fixa, atendendo as especificações de transporte de coordenadas, que diz que as soluções do tipo Fixas são aquelas que usam as medidas de fase das portadoras L1 e L2 com ambiguidades resolvidas normalmente utilizadas para linhas de base maiores que 20 km.

Os resultados do levantamento realizado pelo Sistema GNSS + RTK apresentaram valores muito próximos aos realizados pelo nivelamento Geométrico. Para a realização desta etapa, levou-se em consideração o ponto de partida o marco do IBGE RN 2466L localizado na calçada da Delegacia de Polícia do município de Rio Tinto, conforme mostra o descritivo do IBGE, cuja altitude ortométrica é de 6,1497 m, onde a mesma possui um desvio padrão de 0,089 m, já os desvios padrões das altitudes ortométricas encontradas pelo RTK, não

ultrapassaram 0,016 m. Para que não sejam extrapolados os indicadores dos desvios padrões no levantamento RTK, o levantamento deve ser feito com os devidos cuidados, incluindo medições de verificação.

Os valores das altitudes obtidas através do Nivelamento Geométrico e do RTK mostram a eficiência do RTK em relação ao levantamento convencional, com uma pequena diferença na comparação dos valores obtidos. Sabe-se que o levantamento convencional comparado com o levantamento GNSS RTK, para os levantamentos convencionais, os erros podem acontecer com maior frequência, seja pelo operador do Nível, seja pelo operador da régua graduada, além de tornar-se um trabalho muito desgastante e cansativo.

Em relação ao transporte de coordenadas geodésicas e altitudes (Capítulo 3), foi feito o possível de acordo com as condições de acesso ao campo e com as tecnologias mais atuais. Conforme comentado no Capítulo 3, uma das principais dificuldades encontradas foi o livre acesso à locais estratégicos na área de estudo, o que impossibilitou a geração de uma malha com a densidade de pontos desejada.

Não obstante, tais atividades foram executadas e os produtos requeridos foram gerados. Ressalta-se que o uso da tecnologia GNSS+RTK se mostrou com boa acurácia, mais do que suficiente para suplantiar o levantamento feito de maneira convencional. Investimentos visando a aquisição de tais tecnologias devem ser feitos, uma vez que conferem maior agilidade para realização de trabalhos topográficos.

No tocante ao aerolevanteamento (Capítulo 4), a metodologia utilizada se mostrou eficiente, mesmo apresentando algumas dificuldades durante o processamento, as quais devem ser evitadas em trabalhos deste tipo. Por ser tratar de uma área irregular, a definição dos planos de voo exigiu um particionamento, de modo a diminuir a desproporcionalidade nas áreas de execução dos voos e adaptação ao modelo de aeronave escolhida, pois, por se tratar de um equipamento gerenciado por sinal de rádio, a quantidade de sinais similares transmitidos em regiões urbanizadas pode prejudicar a comunicação.

Além disso, a distribuição dos pontos de controle (PCT) foi revisada em algumas situações para garantir que fossem visíveis nas imagens aéreas e, assim serem bem avaliadas pela comparação com as coordenadas do levantamento com GNSS. Apesar de todas as dificuldades encontradas, a utilização da plataforma VANT na obtenção de ortomosaicos foi positiva.

De acordo com o que a norma PEC-PCD define, as precisões alcançadas nos produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico com plataforma VANT podem ser utilizados para elaboração de documentos cartográficos na escala 1:900. Tal nível de acurácia permite

sua utilização para geração de modelos digitais da superfície e do terreno. E ainda mais, os resultados possibilitam que outros levantamentos aerofotogramétricos como esse possam fornecer material de qualidade para fins cadastrais, como cartas municipais utilizadas em gestão urbana ou levantamentos de áreas extensas, com agilidade e eficiência.

Recomenda-se, assim, que futuros trabalhos sejam focados na comparação das variáveis envolvidas no processo em relação aos resultados alcançados. Torna-se importante avaliar como o aumento de PCT ou sua distribuição pode influenciar na acurácia dos ortomosaicos; ou ainda, como os elementos de produtividade durante o processo influenciam na qualidade posicional, como o recobrimento das imagens aéreas ou a velocidade da aeronave durante o voo.

REFERÊNCIAS

AGISOFT LLC. **Suporte de uso do software Agisoft PhotoScan**. St. Petersburg: [s.n.], 2018.

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise dos produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais do estado de Goiás**. Goiânia: UFG, 2015.

ASSIS, R. R. D. **Utilização de imagens orbitais e aéreas no estudo da ocupação e planejamento urbano**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13133: **Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

BRASIL. Decreto n.º 89.817. **Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**, 20 junho 1984.

BRASIL, Ministério do Exército, Estado Maior do Exército, Manual Técnico - Serviço Geográfico. **Nivelamento Geométrico**. 1975.

COELHO FILHO, L. C. T.; BRITO, J. L. N. E. S. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: UERJ, 2007.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Curitiba: UFPR, 2002.

DECEA. **ICA 100-40: Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. Brasília: Ministério da defesa, 2016.

Godin, G., **The propagation of tides up rivers with special considerations on the Upper Saint Lawrence River**, Estuarine Coastal Shelf Science, 48, 307–324, 1999.

Horrevoets, A. C., H. H. G. Savenije, J. N. Schuurman, and S. Graas, **The influence of river discharge on tidal damping in alluvial estuaries**, Journal of Hydrology, 294, 213–228, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE),
<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sgb.shtm>

MALARD, M. L. **Princípios teóricos da estereoscopia**. Belo Horizonte - MG: Escola de Arquitetura da UFMG, 2008.

MONICO, J. F. G. et al. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, 2009. ISSN 1982-2170.

MONICO, J.G. **Posicionamento GNSS. descrição, fundamentos e aplicações**. [S.l.]: UNESP, 2008.

NETO, M. S. Droneng: drones e engenharia. **Curso de mapeamento aéreo express**, 2017.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Diálogos Setoriais União Européia - Brasil. Brasília – DF, p. 92. 2016.

RODRIGUES, D. D.; GONÇALVES, R. P. **Topografia. Planimetria para engenheiros, agrimensores e cartógrafos**. Viçosa: UFV, 2010.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. A. J. Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de Vant processados Com os Softwares APS, PIX4D E PHOTOSCAN. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5, 2014, Recife-PE. WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry with Application in GIS**. 3ª.ed. USA: McGraw-Hill, 2004.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. escala 1:25.000, Folha de Rio Tinto SB.25-Y-A-V-4-NE, 1972.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Carta topográfica, escala 1:250.000, Folha de Guarabira SB.25-Y-A, 1976.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Carta topográfica, escala 1:100.000, Folha de Guarabira SB.25-Y-A-V-4-NE, 1988.

URLICH, Y.; et al. (01 de novembro de 2011). «GLONASS Modernization». GPS World. Consultado em 23 de Agosto de 2013

VAZ J.A.; Pissardini, R.S.; Fonseca Júnior, E.S. **Comparação da cobertura e acurácia entre os sistemas GLONASS e GPS obtidas dos dados de observação de uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**. Revista Brasileira de Cartografia. 63 (3): 529-539 2013. ISSN 1808-0936

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry with Application in GIS**. 3ª.ed. USA: McGraw-Hill, 2004.

ZANETTI, J. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT**. Viçosa: UFV, 2017.

ANEXO I

FICHA DO MARÉGRAFO DO PORTO DE CABEDELLO – PARAÍBA

ANEXO II

**RELATÓRIO DE INFORMAÇÃO DA ESTAÇÃO PBCG – RBMC
DESCRITIVO - PBCG**

ANEXO III

**RELATÓRIO DE INFORMAÇÃO DA ESTAÇÃO PBCG – RBMC
DESCRITIVO RNNA**

ANEXO IV

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DA LINHA DE BASE GNSS

APÊNDICE I

PLANILHAS DE NIVELAMENTO E CONTRANIVELAMENTO

Nivelamento (RN-IBGE-2466L até RN-2466LE)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466L	958			6,1497	RN-IBGE
2466LE		870	-0,088	6,238	Marco - Base GNSS
<input type="checkbox"/>			-0,088		
Contranivelamento (RN-2466LE até RN-IBGE-2466L)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466LE	681			6,238	Marco - Base GNSS
2466L		769	0,088	6,150	RN-IBGE
<input type="checkbox"/>			0,088		

Nivelamento (RN-IBGE-2466L até RN4)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466L	958			6,1497	RN-IBGE
2466LE	1619	870	-0,088	6,238	Marco Base GNSS
int1	1230	2505	0,886	5,352	Estaca intermediária
int2	621	2365	1,135	4,217	Estaca intermediária
int3	1587	1112	0,491	3,726	Estaca intermediária
int4	2483	2170	0,583	3,143	Estaca intermediária
RN4		1454	-1,029	4,172	Calçada do Veloso
<input type="checkbox"/>			1,978		
Contranivelamento (RN4 até RN-IBGE-2466L)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
RN4	1484			4,172	Calçada do Veloso
int5	2113	2523	1,039	3,133	Estaca intermediária
int6	1612	1120	-0,993	4,126	Estaca intermediária
int7	1200	380	-1,232	5,358	Estaca intermediária
int8	1205	680	-0,520	5,878	Estaca intermediária
2466LE	681	842	-0,363	6,241	Marco Base GNSS
2466L		769	0,088	6,153	RN-IBGE
<input type="checkbox"/>			-1,981		

Nivelamento (RN-IBGE-2466L até RN5)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466L	958			6,1497	RN-IBGE

2466LE	1619	870	-0,088	6,238	Marco Base GNSS
int9	1230	2505	0,886	5,352	Estaca intermediária
int10	621	2365	1,135	4,217	Estaca intermediária
int11	1587	1112	0,491	3,726	Estaca intermediária
int12	2483	2170	0,583	3,143	Estaca intermediária
RN4	670	1454	-1,029	4,172	Calçada do Veloso
int13	1190	1110	0,440	3,732	Estaca intermediária
int14	1592	1685	0,495	3,237	Estaca intermediária
RN5		1251	-0,341	3,578	Marco Cerâmica
□			2,572		

Contranivelamento (RN5 até RN-IBGE-2466L)

Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
RN5	1122			3,578	Marco Cerâmica
int15	1710	1461	0,339	3,239	Estaca intermediária
int16	1020	1220	-0,490	3,729	Estaca intermediária
RN4	1484	581	-0,439	4,168	Calçada do Veloso
int17	2113	2523	1,039	3,129	Estaca intermediária
int18	1612	1120	-0,993	4,122	Calçada do Veloso
int19	1200	380	-1,232	5,354	Estaca intermediária
int20	1205	680	-0,520	5,874	Estaca intermediária
2466LE	681	842	-0,363	6,237	Marco Base GNSS
2466L		769	0,088	6,149	RN-IBGE
□			-2,571		

Nivelamento (RN-IBGE-2466L até RN1)

Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466L	958			6,1497	RN-IBGE
2466LE	1424	870	-0,088	6,238	Marco Base GNSS
int21	1815	943	-0,481	6,719	Estaca intermediária
int22	675	3188	1,373	5,346	Estaca intermediária
int23	1879	270	-0,405	5,751	Estaca intermediária
int24	878	2425	0,546	5,205	Estaca intermediária
RN1		2351	1,473	3,732	Curral Sr. Biu
□			2,418		

Contranivelamento (RN1 até RN-IBGE-2466L)

Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
RN1	2244			3,732	Curral Sr. Biu
int25	2623	485	-1,759	5,491	Estaca intermediária
int26	2637	3915	1,292	4,199	Estaca intermediária
int27	1412	83	-2,554	6,753	Estaca intermediária

int28	1876	2188	0,776	5,977	Estaca intermediária
2466LE	681	1619	-0,257	6,234	Marco Base GNSS
2466L		769	0,088	6,146	RN-IBGE
□			-2,326		

Nivelamento (RN-IBGE-2466L até RN2)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466L	958			6,1497	RN-IBGE
2466LE	1424	870	-0,088	6,238	Marco Base GNSS
int29	1815	943	-0,481	6,719	Estaca intermediária
int30	675	3188	1,373	5,346	Estaca intermediária
int31	1879	270	-0,405	5,751	Estaca intermediária
int32	878	2425	0,546	5,205	Estaca intermediária
RN1	732	2351	1,473	3,732	Curral Sr. Bui
int33	1721	2955	2,223	1,509	Estaca intermediária
RN2		955	-0,766	2,275	Marco Porto
□			3,875		

Contranivelamento (RN2 até RN-IBGE-2466L)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
RN2	882			2,275	Marco Porto
int34	2771	1655	0,773	1,502	Estaca intermediária
RN1	2244	542	-2,229	3,731	Curral Sr. Bui
int35	2623	485	-1,759	5,490	Estaca intermediária
int36	2637	3915	1,292	4,198	Estaca intermediária
int37	1412	83	-2,554	6,752	Estaca intermediária
int38	1876	2188	0,776	5,976	Estaca intermediária
2466LE	681	1619	-0,257	6,233	Marco Base GNSS
2466L		769	0,088	6,145	RN-IBGE
□			-3,870		

Nivelamento (RN-IBGE-2466L até RN3)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
2466L	958			6,1497	RN-IBGE
2466LE	1424	870	-0,088	6,238	Marco - Base GPS
int39	1815	943	-0,481	6,719	Estaca intermediária
int40	675	3188	1,373	5,346	Estaca intermediária
int41	1879	270	-0,405	5,751	Estaca intermediária
int42	878	2425	0,546	5,205	Estaca intermediária
RN1	2573	2351	1,473	3,732	Curral Sr. Bui
int43	2055	3162	0,589	3,143	Estaca intermediária
int44	1664	3327	1,272	1,871	Estaca intermediária
int45	1550	1634	-0,030	1,901	Estaca intermediária

int46	1715	2035	0,485	1,416	Estaca intermediária
RN3		1407	-0,308	1,724	Marco Rio do Gelo
□			4,426		
Contranivelamento (RN3 até RN-IBGE-2466L)					
Estaca	Visada a ré (mm)	Visada a vante (mm)	Diferença de Nível (m)	Cota (m)	Referência
RN3	1407			1,724	Marco Rio do Gelo
int47	1655	1698	0,291	1,433	Estaca intermediária
int48	1630	1195	-0,460	1,893	Estaca intermediária
int49	1885	333	-1,297	3,190	Estaca intermediária
int50	1573	327	-1,558	4,748	Estaca intermediária
RN1	2244	2585	1,012	3,736	Curral Sr. Bui
int51	2623	485	-1,759	5,495	Estaca intermediária
int52	2637	3915	1,292	4,203	Estaca intermediária
int53	1412	83	-2,554	6,757	Estaca intermediária
int54	1876	2188	0,776	5,981	Estaca intermediária
2466LE	681	1619	-0,257	6,238	Marco - Base GPS
2466L		769	0,088	6,150	RN-IBGE
□			-4,426		

APÊNDICE II
COORDENADAS E ELEVAÇÃO DOS PONTOS LEVANTADOS COM
RECEPTOR GNSS+RTK

ID	Dir E	Dir N	Elevação
1	270037,332	9246620,412	8,259
2	269972,931	9246248,202	6,371
3	269973,394	9246136,961	4,894
4	270277,381	9246378,874	3,511
5	270470,345	9246154,875	3,256
6	270615,736	9246218,15	4,040
7	270066,116	9245718,599	2,735
8	270332,091	9245920,822	4,084
9	270607,021	9245695,05	3,252
10	270437,517	9245888,831	4,125
11	270379,551	9246627,008	5,474
12	270364,572	9246562,063	6,404
13	270325,306	9245712,998	3,281
14	270327,64	9245712,632	3,232
15	271064,027	9245726,374	3,005
16	270757,549	9245601,733	3,484
17	271273,11	9245802,486	6,612
18	271048,492	9246549,211	5,420
19	271157,357	9246540,807	4,270
20	271181,497	9246544,771	5,287
21	271193,020	9246509,854	2,196
22	270944,286	9246621,351	6,642
23	270937,586	9246610,241	6,088
24	270842,419	9246687,334	6,503
25	270671,098	9246492,864	4,402
26	270770,082	9246335,297	4,898
27	270604,185	9246254,740	4,556
28	270287,877	9246650,557	6,080
29	270228,677	9246657,427	7,331
30	270136,448	9246596,367	6,417
31	270119,314	9246582,646	6,191
32	270247,215	9246442,620	5,105
33	270038,253	9246381,296	5,743
34	269990,461	9246231,546	6,389
35	269995,518	9246143,495	5,284
36	270252,283	9246560,774	7,232
37	270416,813	9246378,191	4,310
38	270794,158	9246058,616	3,355
39	270677,475	9245897,996	3,585

40	270640,316	9245862,641	3,876
41	270408,402	9245910,841	4,108
42	270351,792	9245936,681	4,147
43	270351,797	9245936,694	4,139
44	270004,668	9245605,043	3,475
45	271293,546	9245763,697	6,605
46	271197,690	9245841,356	3,682
47	270950,970	9246614,591	6,024
48	270842,845	9246686,678	6,314
49	270659,870	9246836,961	3,928
50	270595,421	9246894,637	6,581
51	270514,788	9246829,130	6,639
52	270576,402	9246015,790	3,519
53	270599,103	9246019,048	3,423
54	270617,723	9246023,452	3,366
55	270636,559	9246028,892	3,365
56	270652,752	9246029,300	3,540
57	270666,142	9246041,639	3,349
58	270666,167	9246041,635	3,347
59	270690,763	9246048,019	3,341
60	270702,895	9246051,287	1,994
61	270713,213	9246055,801	3,284
62	270731,741	9246057,447	2,809
63	270741,446	9246049,081	3,000
64	270751,746	9246038,058	2,903
65	270763,419	9246029,062	3,332
66	270747,975	9246014,676	3,260
67	270732,794	9246027,038	2,920
68	270719,235	9246026,558	2,981
69	270717,076	9246016,339	2,932
70	270714,772	9246001,768	2,733
71	270735,798	9246001,097	3,397
72	270718,869	9245985,301	3,316
73	270709,589	9245990,802	2,697
74	270695,667	9245967,803	2,783
75	270700,952	9245962,911	3,308
76	270685,284	9245932,139	3,367
77	270685,310	9245932,130	3,366
78	270678,872	9245940,865	2,751
79	270660,150	9245894,994	2,813

80	270653,842	9245904,355	2,459
81	270652,851	9245908,751	1,719
82	270662,786	9245930,310	2,622
83	270662,777	9245930,379	2,604
84	270666,660	9245929,402	1,443
85	270677,235	9245954,401	2,643
86	270677,210	9245954,384	2,644
87	270680,831	9245953,667	1,568
88	270696,584	9245984,229	2,569
89	270699,442	9245982,221	1,334
90	270704,141	9245997,356	2,703
91	270705,843	9245994,197	1,303
92	270704,464	9246021,554	2,919
93	270707,364	9246023,644	1,384
94	270703,363	9246037,142	2,996
95	270707,557	9246038,630	1,277
96	270707,668	9246038,680	1,227
97	270686,239	9246014,485	2,866
98	270667,599	9245997,323	2,962
99	270659,100	9245978,182	2,614
100	270645,760	9245964,795	2,650
101	270619,760	9245952,877	2,419
102	270600,976	9245980,463	2,686
103	270610,106	9245995,997	2,838
104	270633,617	9246010,675	3,351
105	270653,427	9246018,802	3,360
106	271635,987	9246012,521	2,504
107	271659,770	9246020,308	2,426
108	271670,011	9246025,886	2,375
109	271690,801	9246050,745	2,105
110	271703,450	9246069,911	1,913
111	271714,427	9246090,052	2,079
112	271727,602	9246113,892	1,988
113	271744,365	9246144,057	2,001
114	271728,324	9246154,346	2,343
115	271719,260	9246160,328	1,898
116	271702,294	9246171,758	1,961
117	271690,864	9246178,828	1,855
118	271673,849	9246188,870	1,602
119	271664,982	9246194,831	2,150
120	271640,532	9246211,209	2,238
121	271628,372	9246205,588	2,147
122	271633,150	9246197,728	1,814
123	271637,876	9246191,412	1,985
124	271644,865	9246181,523	2,100

125	271651,838	9246173,581	1,875
126	271657,076	9246166,599	1,479
127	271641,377	9246152,612	1,518
128	271634,191	9246157,804	2,036
129	271628,310	9246164,283	2,327
130	271618,807	9246176,136	2,213
131	271605,512	9246195,264	2,093
132	271590,729	9246188,205	1,981
133	271596,376	9246176,747	2,070
134	271606,058	9246160,922	2,208
135	271617,064	9246144,495	2,054
136	271622,354	9246138,071	2,022
137	271627,706	9246134,760	1,445
138	271610,370	9246122,277	1,655
139	271604,691	9246129,718	2,020
140	271595,862	9246144,029	2,275
141	271585,895	9246161,700	2,058
142	271575,479	9246181,281	2,157
143	271554,429	9246171,487	2,170
144	271564,748	9246152,758	2,171
145	271572,477	9246139,317	2,141
146	271581,205	9246122,099	2,078
147	271588,936	9246107,001	1,893
148	271592,785	9246098,602	2,184
149	271599,269	9246085,454	2,211
150	271607,450	9246068,272	2,037
151	271607,465	9246068,299	2,038
152	271615,671	9246051,673	2,450
153	271624,657	9246032,566	2,662
154	271632,780	9246015,461	2,578
155	271639,561	9246003,963	2,508
156	271636,751	9246007,191	2,503
157	271636,700	9246007,214	2,508
158	271660,682	9246020,527	2,465
159	271660,653	9246020,567	2,454
160	271653,069	9246037,721	2,536
161	271645,311	9246054,572	2,451
162	271637,301	9246071,010	2,396
163	271628,974	9246088,039	2,013
164	271619,955	9246105,906	1,890
165	271619,951	9246105,939	1,890
166	271628,760	9246127,901	1,689
167	271628,769	9246127,865	1,689
168	271638,017	9246110,728	1,864
169	271641,859	9246102,996	2,195

170	271652,203	9246082,281	2,512
171	271660,909	9246065,112	2,463
172	271677,095	9246078,891	2,246
173	271667,618	9246097,636	2,173
174	271660,167	9246112,317	2,166
175	271654,781	9246124,098	1,853
176	271645,101	9246141,016	1,874
177	271645,184	9246141,130	1,858
178	271659,391	9246153,070	1,929
179	271676,745	9246135,731	2,058
180	271686,197	9246117,430	2,164
181	271695,535	9246101,564	2,176
182	271630,101	9245995,982	2,566
183	271623,170	9246008,100	2,422
184	271617,548	9246019,559	2,783
185	271609,238	9246034,797	2,430
186	271603,377	9246046,835	2,371
187	271598,630	9246055,426	2,003
188	271591,558	9246067,207	2,383
189	271583,774	9246082,126	2,079
190	271579,711	9246090,010	2,166
191	271566,837	9246117,492	2,082
192	271554,899	9246142,368	2,317
193	271543,265	9246166,517	2,200
194	271519,180	9246154,844	2,263
195	271534,651	9246121,118	2,051
196	271544,054	9246101,572	2,183

197	271553,198	9246081,618	1,995
198	271563,706	9246058,260	2,269
199	271571,941	9246041,911	2,184
200	271577,688	9246027,593	2,467
201	271577,702	9246027,607	2,471
202	271590,961	9246003,097	2,449
203	271598,977	9245981,867	2,488
204	271572,389	9245970,199	2,676
205	271562,029	9245991,703	2,674
206	271552,697	9246013,782	2,539
207	271541,365	9246038,158	2,273
208	271529,061	9246063,464	2,288
209	271529,121	9246063,473	2,290
210	271516,112	9246090,938	2,203
211	271502,458	9246119,757	2,200
212	271502,480	9246119,733	2,198
213	271492,811	9246142,237	2,046
214	271492,076	9246142,228	2,060
215	271220,542	9246464,726	1,002
216	270587,631	9246027,878	1,611
217	270587,445	9246028,054	1,549
218	270793,500	9246074,700	4,143
219	270586,558	9246019,642	3,600
220	271409,011	9246697,951	1,708

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Nivelamento Geométrico (uso do Nível Ótico e Mira com nível de cantoneira)



Nivelamento Geodésico (pontos de controle para o Drone)



Nivelamento Geodésico (planejamento pontos de controle para o Drone)