

**Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos e
Sistema de Mapeamento de Manchas de Inundações**



**ELABORAÇÃO DE MANCHAS
DE INUNDAÇÃO DE
NOVA ERA - MG**

Julho, 2023

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente Interino

Cassiano de Souza Alves (Interino)

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Paulo Afonso Romano (Interino)

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Consultora do Departamento de Hidrologia

Andrea de Oliveira Germano

Superintendente Regional

Marlon Marques Coutinho

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

José Alexandre Pinto Filho

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Departamento de Hidrologia
Divisão de Hidrologia Aplicada

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos e Sistema de Mapeamento de Manchas de Inundações

ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO DE NOVA ERA - MG

AUTOR

Breno Guerreiro da Motta
Artur José Soares Matos
Andrea de Oliveira Germano

Belo Horizonte
Julho, 2023



REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Breno Guerreiro da Motta
Artur José Soares Matos
Andrea de Oliveira Germano

EQUIPE EXECUTORA

Emília Yumi Kawaguchi
José Júlio de Souza
Ricardo Duarte de Oliveira
Rubens Esteves Kenup
Wesley Natan da Rocha

Ficha Catalográfica

G 372

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era – MG./ Autores Breno Guerreiro da Motta, Andrea de Oliveira Germano, Artur José Soares Matos- Belo Horizonte: CPRM,2023.

^{66p.} 4.733 kbytes . Programa de Recursos Hídricos Superficiais. Coleção Mapeamento de cheias de inundações. Disponível em www.cprm.sgb.gov.br/ RIGEO.

1-Hidrologia de Minas Gerais 2- Chuvas intensas 3- Enchentes I-Título II- Germano,A.de O.III- Matos, A.J.S. IV- Motta, B.G. V- Coleção.

CDU: 551.311.2 (815.1A/Z)

Ficha Catalográfica por Bibliotecária Maria Madalena Costa Ferreira CRB/MG1393 – Biblioteca Regional da CPRM de Belo Horizonte-MG

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM
www.cprm.gov.br
seus@cprm.gov.br

RESUMO

As inundações decorrentes de cheias naturais podem causar danos e prejuízos em ocupações humanas existentes em planícies de inundação, situadas às margens de rios. Neste trabalho são realizadas modelagens hidráulicas visando caracterizar o alcance de cheias de diferentes magnitudes na cidade de Nova Era/MG, associadas a maiores e menores probabilidades de ocorrência, como forma de auxiliar a tomada de decisão dos órgãos competentes junto à população. Este trabalho está englobado dentro do Sistema de Alerta Hidrológico – SAH – da bacia do rio Doce (SAH Doce), operado pelo SGB-CPRM desde 1997. Como resultados, são apresentadas as manchas de inundação revisadas para cheias de tempos de recorrência variáveis de 2 anos até 1.000 anos, além de manchas associadas ao nível de água das régua da estação Nova Era Telemétrica (56661000) entre 470 cm e 1100 cm, referência para o alerta de cheias do rio Piracicaba nesta cidade.

ABSTRACT

Natural floods can lead to damage and financial loss to cities and other human occupations on floodplains located at riversides. In this work, hydraulic simulations were made aiming to map the extension of different floods, from more to lesser frequent, in the city of Nova Era/MG, to help local organizations to make decisions on behalf of the safety of the population. This work is directly related to “Sistema de Alerta Hidrológico” (Hydrological Alert System) - SAH, kept by SGB-CPRM since 1997. The results of this works are the reviewed vectors representing the boundary of the floods comprehended between the 2-year probability up to the 1.000-year, and the floods related to different heights on the gauges of the Nova Era Telemétrica station, from 470cm up to 1100cm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Nova Era, no contexto da Bacia do rio Doce	11
Figura 2 – Hidrografia no entorno de Nova Era-MG	12
Figura 3 – Croqui do MDS da região gerado pelas equipes do SGB-CPRM	16
Figura 4 – Croqui de localização das seções topobatimétricas a montante da cidade	18
Figura 5 – Croqui de localização das seções topobatimétricas entre PC-0026 e PC-0032 na zona urbana da cidade	18
Figura 6 – Croqui de localização das seções topobatimétricas entre a PC-0031 e PC-0034 na zona de urbana da cidade.....	19
Figura 7 – Croqui de localização da seção topobatimétrica PC-0035 localizada a jusante da cidade.....	19
Figura 8 – MDS sem correção da batimetria.....	20
Figura 9 – MDS com correção de batimetria	21
Figura 10 – Exemplo de seção antes (amarelo) e após (marrom) a correção	21
Figura 11 – Exemplo de afloramento visto em foto aérea e no levantamento do drone	22
Figura 12 – Situação após a interpolação das seções topobatimétricas.....	23
Figura 13 – Correção do MDS para caracterizar singularidades	23
Figura 14 – Ortoimagem da região de Nova Era obtida com VANT	24
Figura 15 – Ortoimagem (detalhe na Ponte da Rua São Tomaz Jacinto)	25
Figura 16 – Exemplo de amostra de vegetação densa, utilizado o software QGIS	26
Figura 17 – Classificação de uso e ocupação do solo em Nova Era-MG utilizada para a modelagem.....	27
Figura 18 – Ajuste de distribuições de probabilidade sobre os dados de Nova Era IV (56659998)	33
Figura 19 – Área de levantamento do VANT.....	40
Figura 20 – Delimitação da área 2D principal e áreas de refinamento	41
Figura 21 – Exemplo de transição da malha 25x25 para a malha 5x5	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização das Seções Topobatimétricas	17
Tabela 2 – Coeficiente de rugosidade de Manning.....	28
Tabela 3 – Parâmetros da Curva Chave de Nova Era IV (56659998), válidos a partir de 26/01/2020.....	28
Tabela 4 – Vazões em Nova Era IV (56659998), metros nas colunas e decímetros nas linhas.....	29
Tabela 5 – Parâmetros da Curva Chave de Nova Era Telemétrica (56661000), válidos a partir de 26/01/2020	29
Tabela 6 – Vazões em Nova Era Telemétrica (56661000), metros nas colunas e decímetros nas linhas	29
Tabela 7 – Cálculo da cota zero da régua para Nova Era IV (56659998).....	30
Tabela 8 – Cálculo da cota zero da régua para Nova Era Telemétrica (56661000)	30
Tabela 9 – Cota zero da régua para as estações	30
Tabela 10 – Vazões máximas anuais na estação Nova Era IV (56659998)	32
Tabela 11 – Vazões associadas a diferentes tempos de recorrência	34
Tabela 12 – Leituras de Régua, cotas ortométricas e vazões de interesse para a estação Nova Era Telemétrica (56661000)	35
Tabela 13 – Pontos da mancha de inundação levantados em campo	36
Tabela 14 – Coeficiente de rugosidade de Manning finais	45
Tabela 15 – Cotas observadas e simuladas na calibração.....	45
Tabela 16 – Cotas observadas e simuladas na calibração para vazão de inundação, nas estações Nova Era IV (56659998) e Nova Era Telemétrica (56661000).....	50
Tabela 17 – Vazões Simuladas (Referentes à estação Nova Era -56661000)	51

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA.....	14
2.1. TOPOGRAFIA	15
2.1.1. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	15
2.1.2. SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS	16
2.1.3. CORREÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	20
2.2. ORTOIMAGEM.....	23
2.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	25
2.4. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	28
2.4.1. CURVA-CHAVE.....	28
2.4.2. ZEROS DAS RÉGUAS E COTAS DE CHEIA.....	30
2.5. VAZÕES	31
2.5.1. ZEROS DAS RÉGUAS E COTAS DE CHEIA.....	31
2.5.2. COTAS E VAZÕES DE ALERTA.....	34
2.6. LEVANTAMENTO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO EM CAMPO	35
2.7. MODELO HIDRÁULICO.....	39
2.7.1. LIMITES DA SIMULAÇÃO.....	39
2.7.2. MALHA 2D E ÁREAS DE REFINAMENTO	40
2.7.3. VAZÃO NOS AFLUENTES	42
2.7.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO	43
2.7.5. CALIBRAÇÃO	43
2.7.6. VAZÕES SIMULADAS.....	51
3 RESULTADOS	52
4 CONCLUSÕES	53
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICES E ANEXOS	56
APÊNDICE – ARQUIVOS DIGITAIS DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	56
ANEXO I – Ficha Descritivas das Estações Nova Era IV e Telemétrica	59
ANEXO II – Modelo HEC-RAS	66
ANEXO III – Registro Fotográfico	66
ANEXO IV – Ortoimagem	66
ANEXO V – Modelo Digital de Superfície	66

1 INTRODUÇÃO

O trecho fluvial de uma bacia hidrográfica normalmente consiste de um canal principal pelo qual escoam grande parte da vazão e áreas de várzea adjacentes, conhecidas como planícies de inundação. Quando o volume de uma onda de cheia excede a capacidade da calha principal do rio, em decorrência do excesso de chuva ou pela liberação de água de um reservatório a montante, há ocorrência de inundação das várzeas.

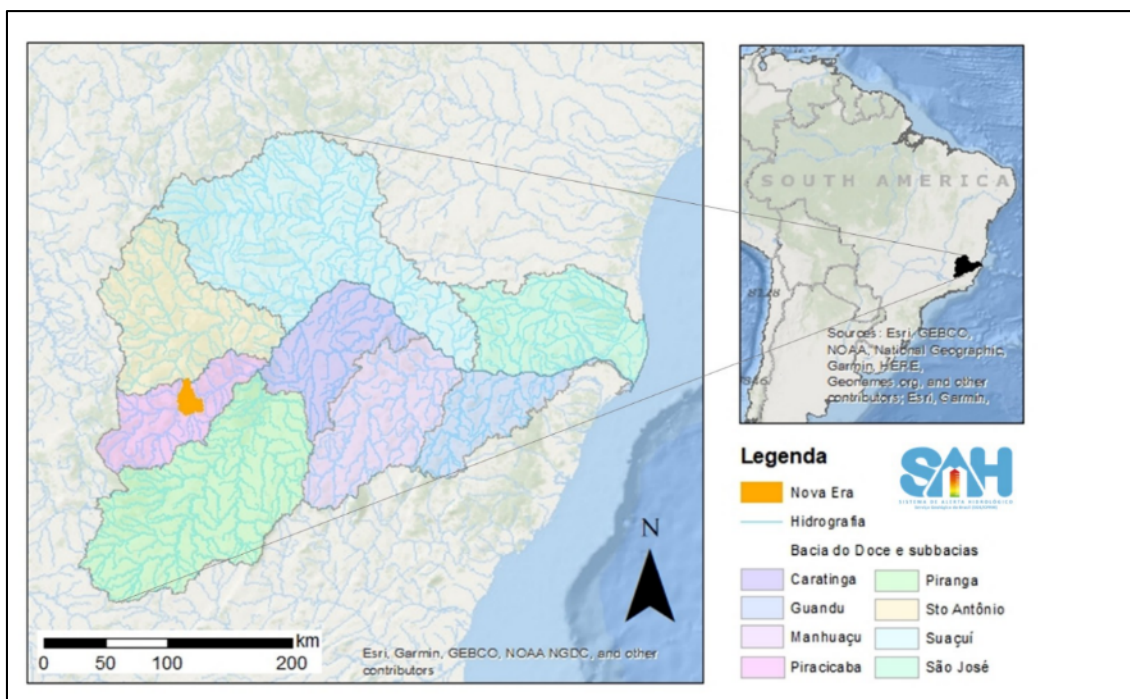
Em locais em que a inundação possa causar prejuízos, pela existência de núcleos urbanos ou assentamentos humanos, podem ser realizadas medidas estruturais e/ou não-estruturais de controle de enchentes. As estruturais envolvem obras de engenharia, como barragens e bacias de amortecimento, diques ou canais de desvio. As medidas não-estruturais envolvem a melhor convivência da população com as inundações, tendo como principal característica o caráter preventivo, como, por exemplo, os Sistemas de Alerta e Previsão de Cheias recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Nacionalmente, o SGB-CPRM opera 17 sistemas de alerta, sendo três deles nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, áreas de atuação da Superintendência de Belo Horizonte, englobando as bacias do rio Doce, do rio das Velhas e do rio São Francisco.

A bacia do rio Doce, onde situa-se a cidade de interesse para o presente estudo, possui uma área de drenagem de 83.400 km², com aproximadamente 86% no estado de MG e 14% no estado do ES. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande, Suaçuí Grande, São José e Pancas e pela margem direita são os rios Casca, Matipó, Caratinga/Cuité, Manhuaçu, Guandu e Santa Joana.

A cidade de Nova Era-MG, situada na porção mineira da bacia às margens do rio Piracicaba, está distante 140 km de Belo Horizonte (capital mineira) e possui uma população de cerca de 17.600 habitantes, sendo atendida pelo Sistema de Alerta Hidrológico – SAH – desta bacia. A montante da cidade há a confluência dos rios Piracicaba e Santa Bárbara, sendo ambos monitorados para a previsão de inundações

na cidade. A Figura 1 apresenta a localização do município no contexto da bacia do rio Doce.



O município possui dois pontos de monitoramento pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), gerenciada pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico – ANA – e operados pelo SGB-CPRM, sendo as estações fluviométricas de Nova Era IV (56659998) e Nova Era Telemétrica (56661000), distantes uma da outra cerca de 1,8 km pela calha do rio Piracicaba. A primeira é uma estação do tipo convencional, onde são realizadas medições convencionais de nível (com a presença de um observador) e vazão, e a segunda é o ponto de instalação dos equipamentos de monitoramento automático, que transmitem dados de chuva e nível via satélite GOES para possibilitar a operação do Sistema de Alerta.

Conforme informações disponíveis no cadastro do HidroWeb/ANA, considera-se que ambas estações tem a mesma área de drenagem, dada sua proximidade, sendo igual a 3.060 km².

Além do próprio rio Piracicaba, a jusante da zona urbana de Nova Era-MG é possível observar a confluência do rio Piracicaba com o rio da Prata, com área de drenagem de 448 km². Ainda mais a jusante é possível observar a confluência com os

rios Peixe e Piçarrão, com 408 e 91 km² de área de drenagem, respectivamente. A Figura 2 apresenta um croqui da localização destes rios.



Figura 2 – Hidrografia no entorno de Nova Era-MG

Historicamente, Nova Era-MG sofre com as cheias do rio Piracicaba, podendo ser citados eventos mais recentes nos anos hidrológicos 1990/1991, 1991/1992, 1992/1993, 1995/1996, 1996/1997, 2002/2003, 2004/2005, 2008/2009, 2011/2012, 2019/2020 e 2021/2022, o que, portanto, justifica a necessidade de operação do SAH no município.

As previsões de cheia para este local são feitas com base nas defluências da usina de Peti, localizada no rio Santa Bárbara, afluente pela margem esquerda do rio Piracicaba, e da usina Piracicaba, localizada no próprio rio Piracicaba. No ano de 2020, foi instalada uma PCD (Plataforma de Coleta de Dados) na estação Rio Piracicaba (56610000), para possibilitar a previsão ao evento de cheia com uma maior antecedência para o município.

Durante a operação do SAH, Nova Era-MG passa a ser avisada sobre a possibilidade de inundação quando a cota ultrapassa 350 cm, a chamada cota de alerta,

na qual o envio de boletins passa a ser frequente, contendo previsões sobre as próximas horas. A inundação da cidade se inicia quando a cota atinge 470 cm. Ressalta-se que estas cotas são referenciadas às réguas da estação Nova Era Telemétrica (56661000), representando vazões de 353 m³/s para alerta e 559 m³/s para início da inundação.

Em 2021, foi realizado um trabalho de modelagem hidráulica, a partir dos dados topográficos mais detalhados disponíveis na época, visando espacializar a cheia no município, gerando manchas de inundação que, sobrepostas a fotografias aéreas, auxiliam órgãos como Defesa Civil e Bombeiros a identificar as regiões afetadas.

Em 2022, após a ocorrência de uma severa inundação, a equipe do SGB-CPRM voltou à campo para realizar o cadastramento da mancha de inundação e, contando com o apoio da Divisão de Cartografia (DICART) do SGB-CPRM, foi realizado um levantamento topográfico detalhado da zona urbana de Nova Era-MG, através da utilização de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de alta resolução. A partir do levantamento foram gerados dois produtos: um modelo de terreno com pixels de 30 x 30 cm e uma ortoimagem de 3 x 3 cm, sendo a referência para os estudos aqui apresentados.

Este relatório, portanto, não é apenas uma revisão do estudo realizado anteriormente, mas representa uma nova uma análise, baseada em novos levantamentos de campo, o que exigiu a elaboração de um novo modelo hidráulico para a cidade.

2 METODOLOGIA

Para a espacialização dos efeitos de uma cheia, faz-se necessária a simulação hidráulica do escoamento, com base em topografia levantada em campo e/ou por sobrevoo.

Quando há disponibilidade apenas de seções topobatimétricas levantadas ao longo do rio, a simulação caracteriza-se, normalmente, por uma simulação unidimensional com base no Standard Step Method, em que apenas uma cota é obtida para cada seção topobatimétrica levantada, devendo haver uma interpolação entre os resultados de cada seção para se estimar qual cota o rio atinge em cada local.

Caso haja disponibilidade de Modelos Digitais de Terreno – MDT ou Modelos Digitais de Superfície – MDS, a simulação pode ser realizada pelo método bidimensional. Em linhas gerais, a diferença entre os modelos é que o MDT considera o valor de altitude do solo, enquanto o MDS leva em conta qualquer singularidade, como uma edificação ou vegetação, para apresentar a altitude. Define-se, de forma geral, Modelos Digitais de Elevação – MDE – quanto não há especificidade de um tipo ou outro.

Na modelagem bidimensional, o escoamento é analisado com base em células, que são representações em planta de pequenos trechos da topografia, todos interconectados, perfazendo a malha de simulação.

Com a publicação da versão 5.0 do software gratuito HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), as simulações hidráulicas bidimensionais foram facilitadas, utilizando normalmente o método Diffusion Wave para cálculos de níveis e velocidades em qualquer ponto da malha. O detalhamento da malha de simulação pode ser tão pequeno quanto a resolução do modelo digital permitir, sendo inversamente proporcional ao custo computacional. Ou seja, quanto menor a célula simulada, maior o tempo de simulação, podendo se estender por horas ou dias, a depender da capacidade de processamento do hardware disponível. Cita-se que o modelo HEC-RAS encontra-se, hoje, na versão 6.3.1, sendo esta utilizada para o presente trabalho.

Mesmo nos modelos bidimensionais, as seções topobatimétricas tem fundamental importância pela forma que o modelo digital é levantado. Na quase

totalidade das situações, os MDS não são capazes de caracterizar a calha do rio, ou seja, aquilo que está abaixo do nível de água, definindo somente as margens e deixando uma área plana onde é o rio, que representa a superfície da água no momento do levantamento. As seções topobatimétricas são utilizadas, então, para interpolar a calha do rio, em rotinas próprias do modelo HEC-RAS, para caracterizar, de uma forma mais fiel, as condições de escoamento locais.

Com o MDE corrigido pelas seções topobatimétricas, é feita a caracterização de uso e ocupação do solo, para identificar regiões de vegetação densa, vegetação rasteira, edificações, solo exposto ou outro tipo cobertura que possa ser significativa para explicar o regime de escoamento.

A classificação é realizada normalmente através de ferramentas de geoprocessamento, de forma manual, através da delimitação por polígonos, ou semiautomática (classificação supervisionada), em que é realizada uma amostragem das coberturas e o próprio software de geoprocessamento faz a classificação por semelhança.

Para determinar quais vazões serão simuladas pelo modelo, são feitos ajustes estatísticos ao histórico de dados de uma estação pluviométrica para determinar cheias com diferentes probabilidades de recorrência, normalmente entre 2 e 100 anos. No caso da simulação para sistemas de alerta, entende-se que sejam feitas simulações de inundação associadas aos níveis de água da régua, por facilitar sua compreensão junto aos órgãos locais, ao invés de resultados unicamente vinculados à vazão.

2.1. TOPOGRAFIA

2.1.1. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

A superfície do terreno utilizada para modelagens bidimensionais consiste em uma imagem raster, na qual as células armazenam informações sobre elevações. Conforme citado, para todas as simulações foi utilizado o levantamento realizado pelo SGB/CPRM através de equipamento VANT, em resolução espacial de 30 x 30cm,

suficiente para cobrir a área urbana de Nova Era-MG. A Figura 3 apresenta um croqui do MDS.

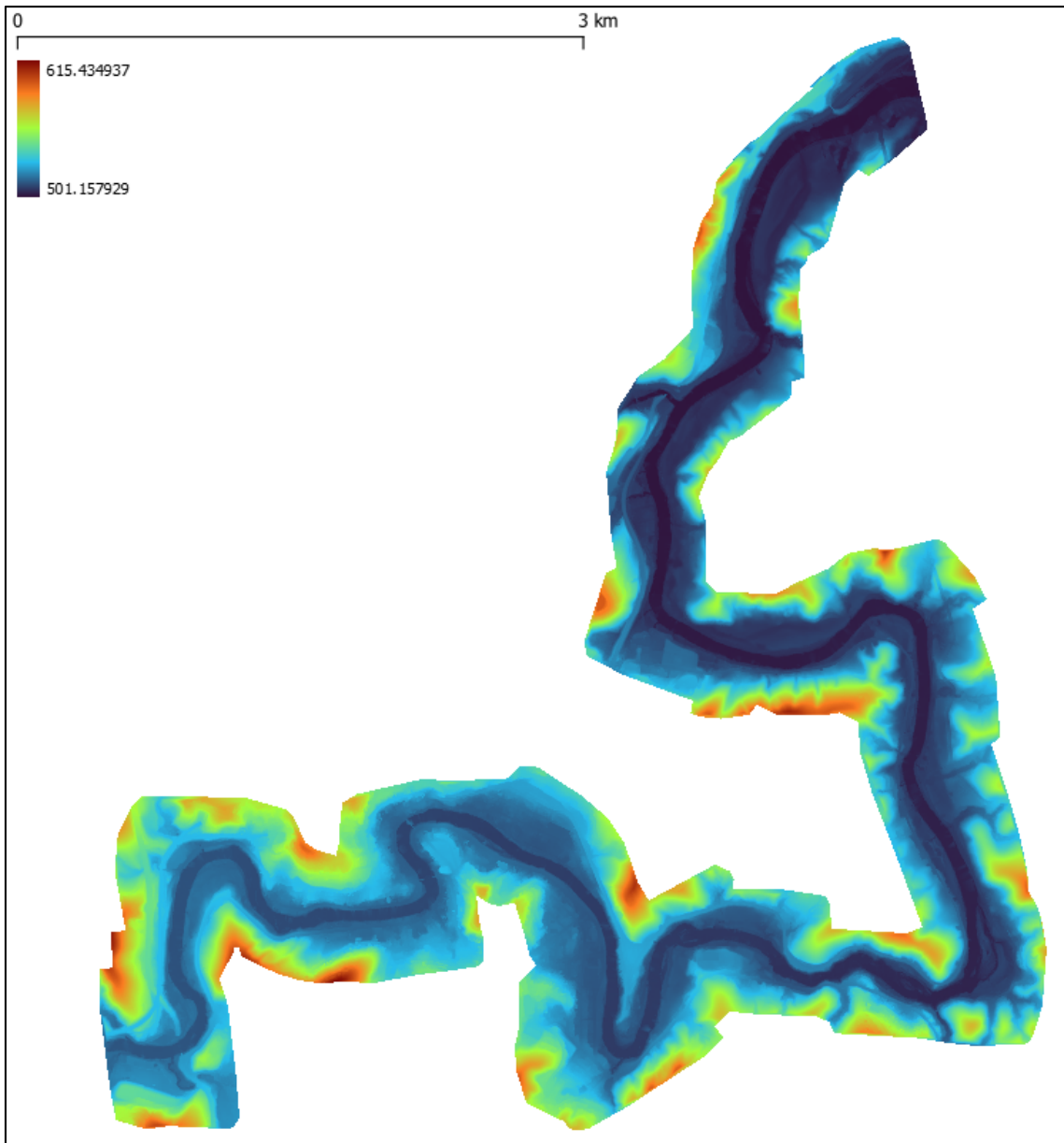


Figura 3 – Croqui do MDS da região gerado pelas equipes do SGB-CPRM

2.1.2. SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS

Foram obtidas, a partir dos Metadados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2001), dez seções topobatimétricas ao longo do rio Piracicaba, no trecho localizado desde a ponte da linha férrea localizada a montante da cidade até o trecho da Estação Ferroviária Jorge Drumond, a jusante da cidade.

A Tabela 1 mostra as coordenadas de localização de cada uma das seções fornecidas, enquanto a localização está apresentada em croquis entre a Figura 4 e a Figura 7.

A seção PC-0025, entretanto, situa-se fora dos limites do levantamento do VANT, sendo utilizadas, portanto, as seções entre PC-0026 e PC-0035.

Como a simulação hidráulica da mancha de inundação foi realizada de forma bidimensional, com base no MDS, as seções topobatimétricas foram utilizadas apenas para corrigir a calha do rio, conforme será apresentado no item posterior.

Tabela 1 – Localização das Seções Topobatimétricas

Código	Latitude	Longitude	Observação
PC-0025	-19,774276	-43,074313	Cadastro da ponte da linha férrea – Fora da área de levantamento do VANT
PC-0026	-19,774964	-43,045416	Cadastro da ponte da BR-381
PC-0027	-19,768554	-43,036062	Seção da estação Nova Era IV (56659998)
PC-0028	-19,766729	-43,033055	Cadastro da ponte Getúlio Vargas
PC-0029	-19,765822	-43,033952	-
PC-0031	-19,766626	-43,025795	Seção da estação Nova Era Telemétrica (56661000)
PC-0032	-19,774901	-43,022825	-
PC-0033	-19,771017	-43,012553	Cadastro da ponte da BR-120
PC-0034	-19,761386	-43,008776	-
PC-0035	-19,741070	-43,016239	-

Elaborado pelo Autor (2023)



Figura 4 – Croqui de localização das seções topobatimétricas a montante da cidade

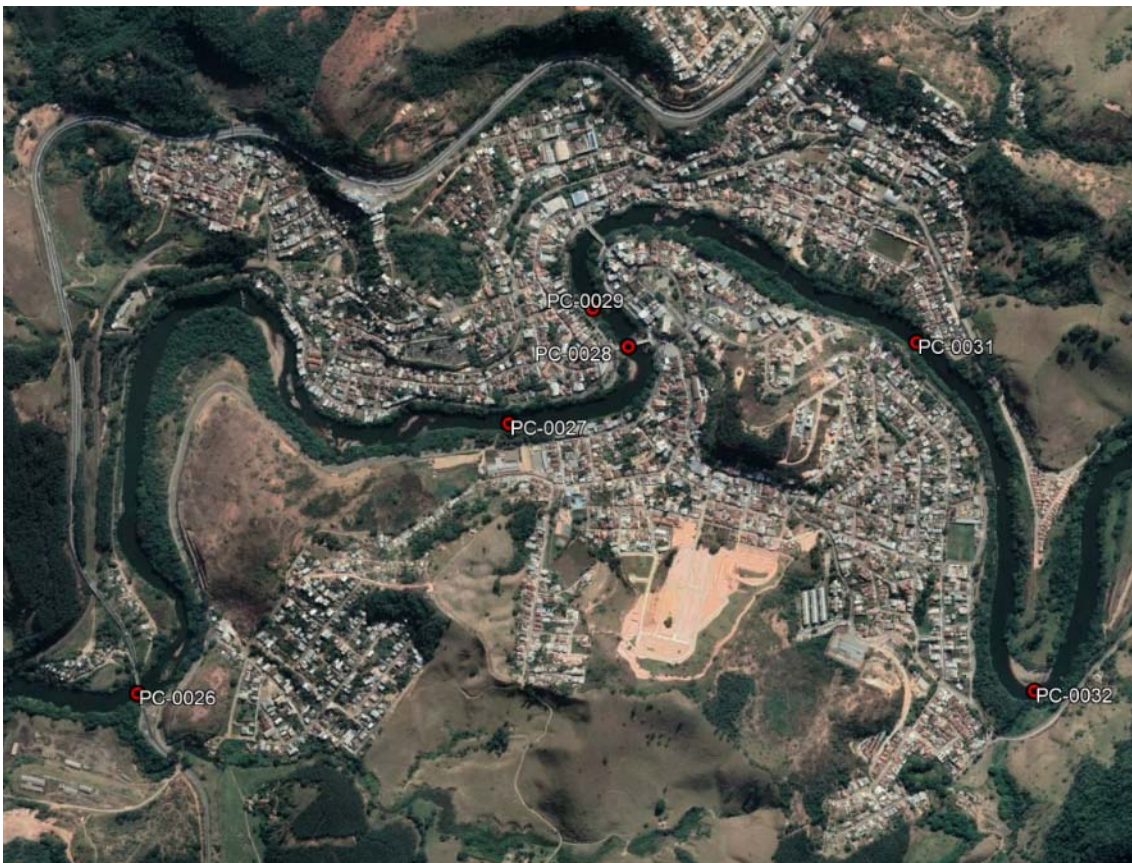


Figura 5 – Croqui de localização das seções topobatimétricas entre PC-0026 e PC-0032 na zona urbana da cidade

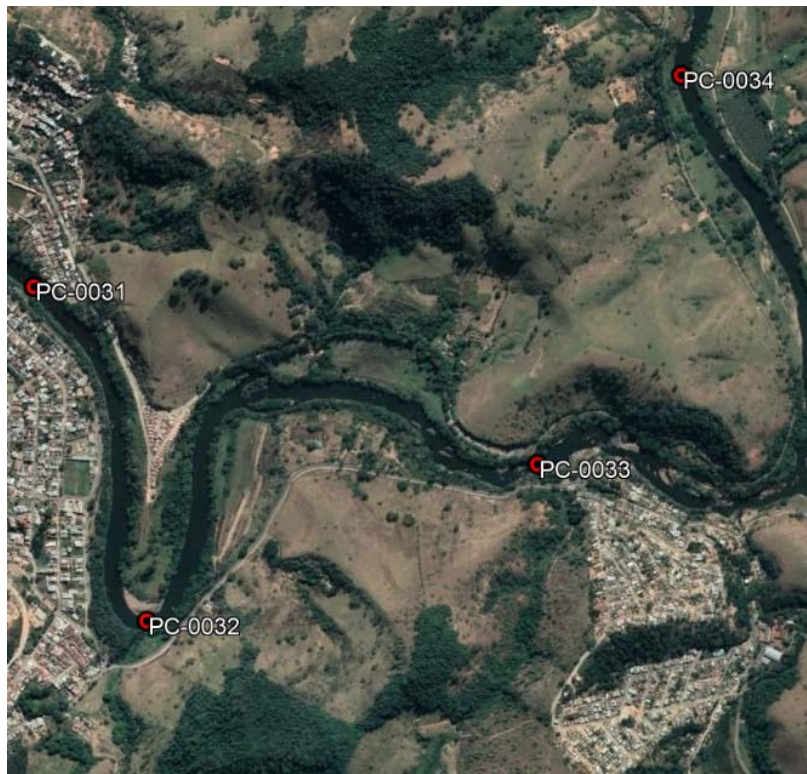


Figura 6 – Croqui de localização das seções topobatimétricas entre a PC-0031 e PC-0034 na zona de urbana da cidade



Figura 7 – Croqui de localização da seção topobatimétrica PC-0035 localizada a jusante da cidade

2.1.3. CORREÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Para a melhor caracterização do escoamento superficial, fez-se necessária a correção do MDS com base nas seções topobatimétricas, uma vez que o modelo de terreno não é capaz de caracterizar o terreno abaixo da superfície da água.

Esta correção foi realizada diretamente dentro do HEC-RAS. Inicialmente o MDS sem correção de terreno é importado pela ferramenta RAS Mapper, onde são realizados os tratamentos de dados bidimensionais. Posteriormente, é traçado o contorno do rio (linha azul), e as margens do rio (linhas vermelhas) (Figura 8). As linhas de margens delimitam para o software a região que terá a topografia substituída pela interpolação das seções topobatimétricas. Então, são inseridas com as informações das seções topobatimétricas georreferenciadas, para que elas gerem uma superfície de interpolação.

Ainda na Figura 8 é possível observar o rio plano, sem caracterização do seu fundo. A Figura 9 apresenta o mesmo trecho do MDS, com a correção da calha do rio feita. Por fim, a Figura 10 exemplifica a correção em uma seção transversal do trecho.

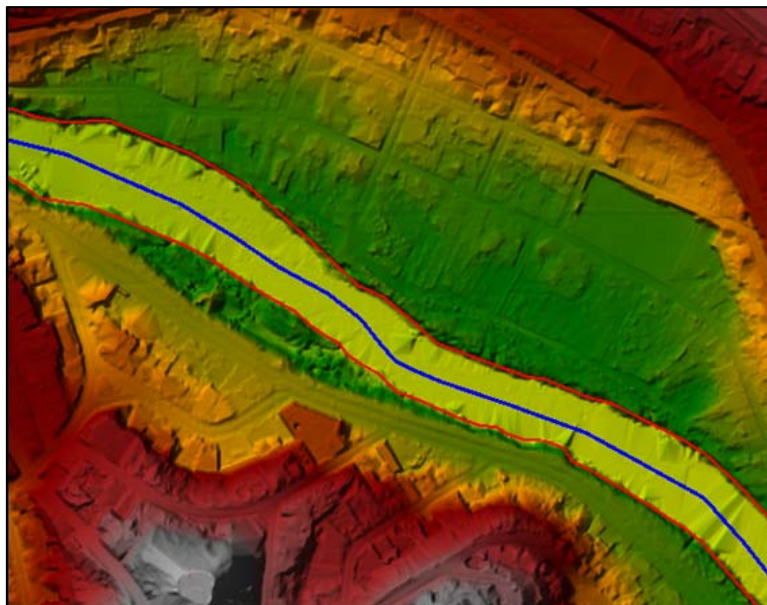


Figura 8 – MDS sem correção da batimetria

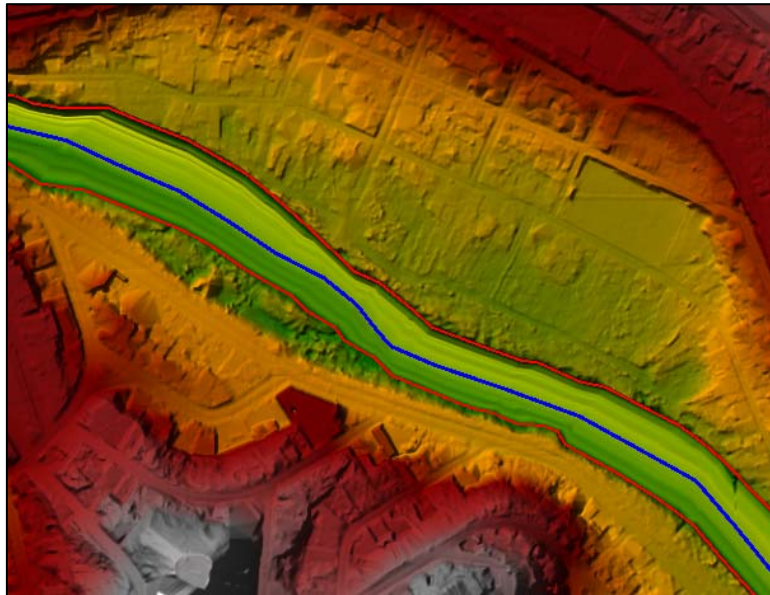


Figura 9 – MDS com correção de batimetria

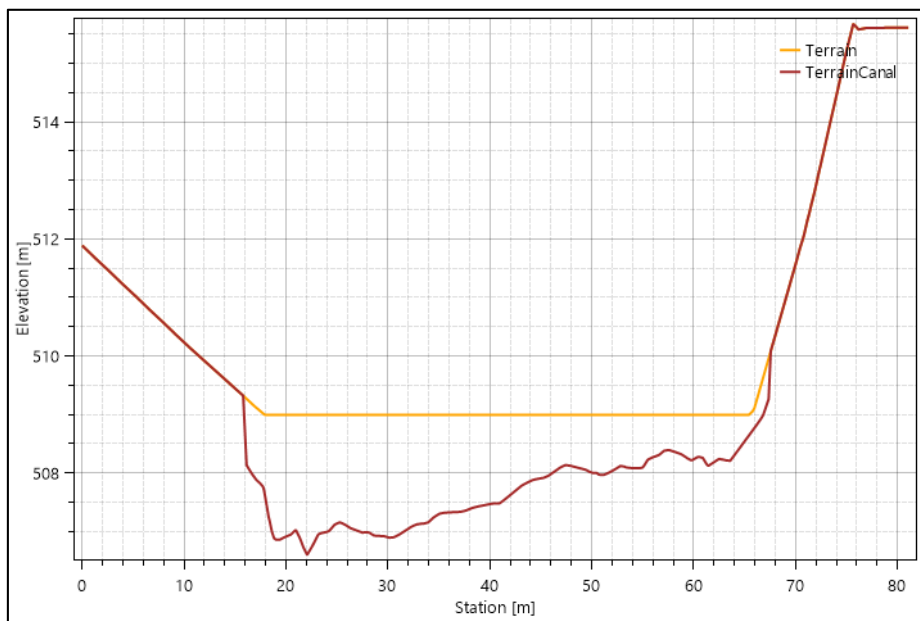


Figura 10 – Exemplo de seção antes (amarelo) e após (marrom) a correção

Nota-se, entretanto, que a rotina é incapaz de prever a existência de singularidades ao longo da calha do rio, como afloramentos rochosos, corredeiras ou cachoeiras, quando estas não estão perfeitamente caracterizadas nas seções topobatimétricas. Na maioria das situações, as singularidades são diretamente substituídas pela interpolação direta das seções, sendo necessário um trabalho manual de correção do MDS para a melhor caracterização hidráulica do trecho.

A Figura 11 mostra um afloramento rochoso existente na região central de Nova Era-MG. Na Figura 11, é possível observar que este afloramento havia sido identificado no MDS, uma vez que está acima da superfície da água. Na Figura 12, entretanto, nota-se que ele foi totalmente substituído pela interpolação de seções topobatimétricas. Por fim, a Figura 13 mostra a correção manual realizada, buscando caracterizar, de forma aproximada, estes afloramentos, com base nas cotas observadas inicialmente no MDS. Ressalta-se que a modificação no MDS não precisa ser necessariamente idêntica ao observado ou levantado em campo, mas deve ser suficiente para ser capaz de reproduzir as condições hidráulicas do trecho.

Em todo o MDS foram feitas aproximadamente 20 correções identificadas na ortoimagem e não caracterizados durante a interpolação.

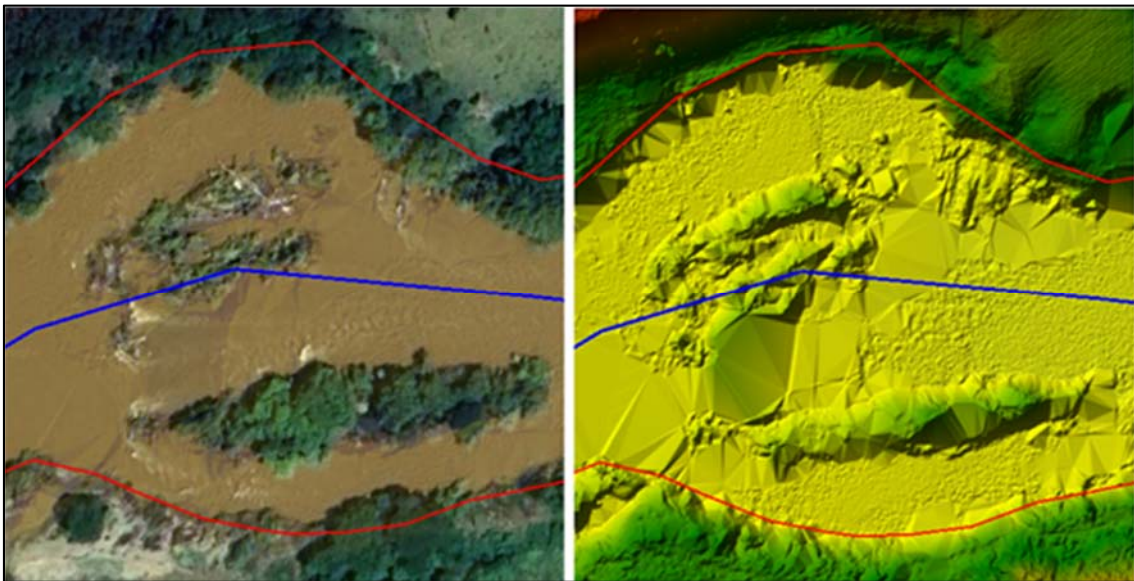


Figura 11 – Exemplo de afloramento visto em foto aérea e no levantamento do drone

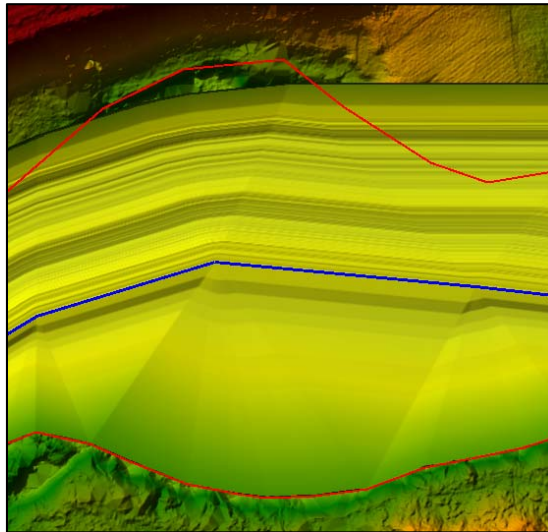


Figura 12 – Situação após a interpolação das seções topobatimétricas

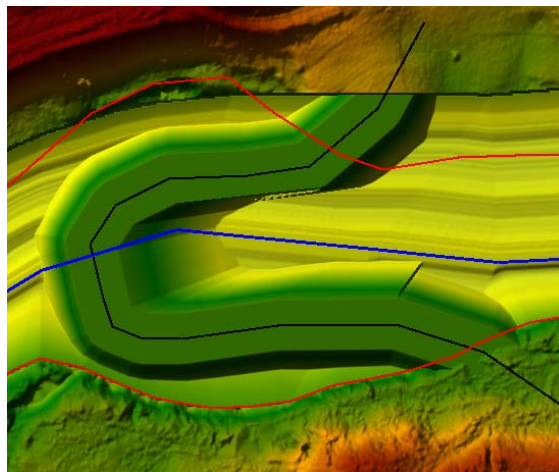


Figura 13 – Correção do MDS para caracterizar singularidades

2.2. ORTOIMAGEM

Conjuntamente com o MDS, foi obtida pela DICART uma ortoimagem contemplando toda a área de estudo, em resolução 3 cm x 3 cm, conforme Figura 14. Esta imagem, apesar de não ser utilizada diretamente na modelagem hidráulica, permite avaliar conjuntamente com as imagens do Google Earth, as áreas e ruas atingidas pelas diferentes vazões de cheia.

A Figura 15 apresenta um detalhe na região da cabeceira da Ponte da Rua São Tomaz de Aquino, para representar o nível de detalhamento obtido com a imagem do VANT.

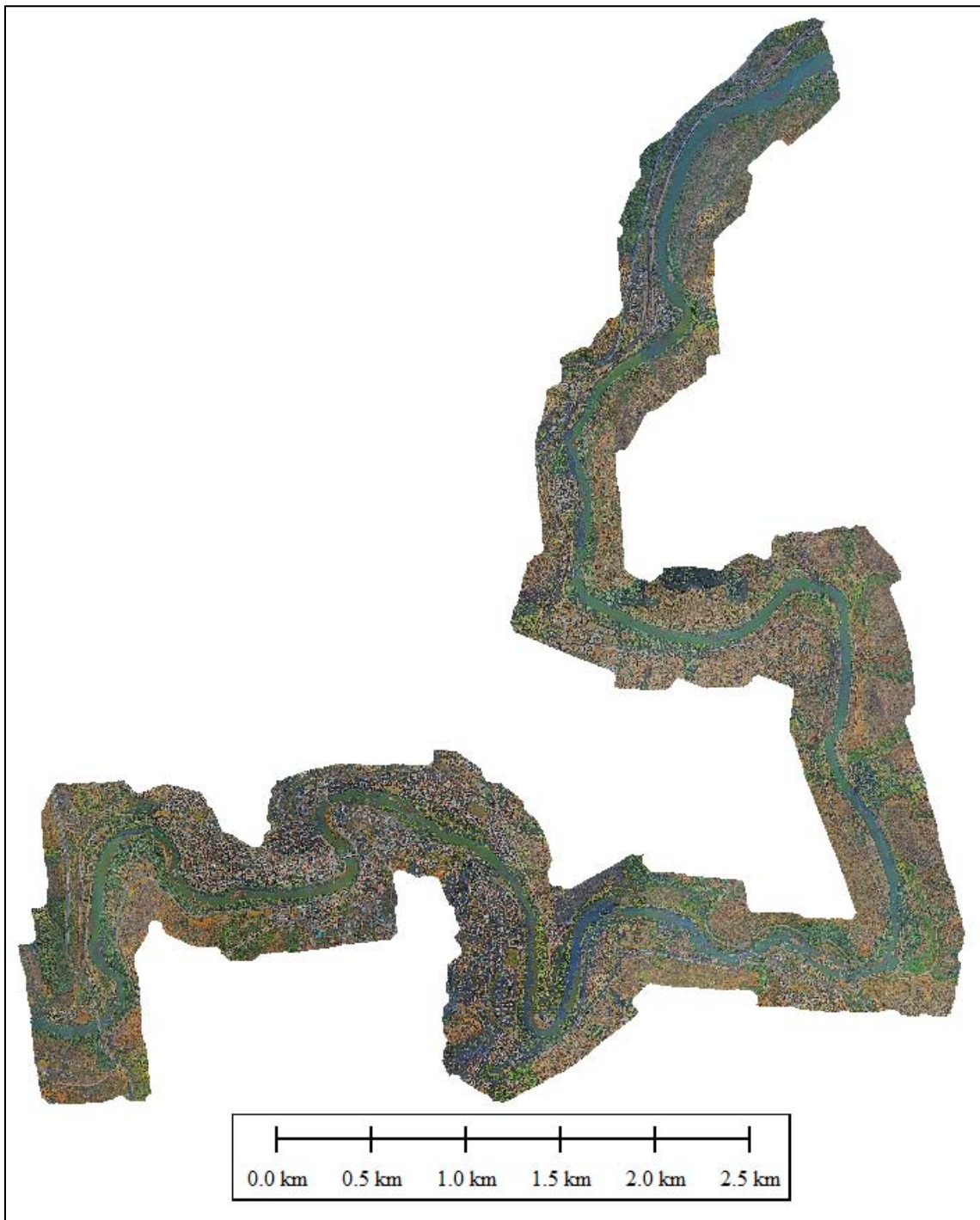


Figura 14 – Ortoimagem da região de Nova Era obtida com VANT

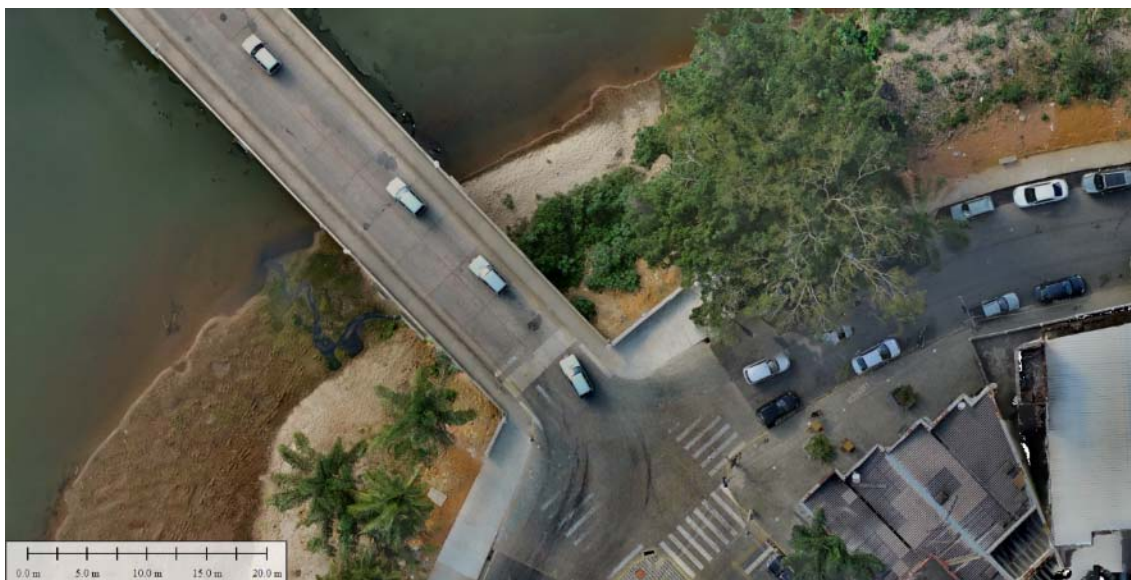


Figura 15 – Ortoimagem (detalhe na Ponte da Rua São Tomaz Jacinto)

2.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para caracterização dos coeficientes de rugosidade no modelo hidráulico, foi utilizado o software QGIS (versão 3.30.0) e seu plugin gratuito SCP (Semiautomatic Classification Plugin).

Este plugin permite a classificação semiautomática do uso e ocupação do solo. Inicialmente são fornecidas ao software amostras dos tipos de cobertura presentes na imagem. No atual caso, foram fornecidas amostras de vegetação densa, vegetação rasteira, edificações, água e solo exposto. A partir de rotinas de cálculo de semelhança, o software utiliza as amostras para classificar a cobertura em toda a imagem.

A Figura 16 apresenta um exemplo de amostra fornecida ao software para a classificação de vegetação densa.



Figura 16 – Exemplo de amostra de vegetação densa, utilizado o software QGIS

Depois de fornecidas amostras suficientes para o software, é executada a rotina de classificação, onde o plugin tem como resultado uma imagem de uso e ocupação do solo. A Figura 17 apresenta o resultado obtido para a classificação de uso e ocupação em Nova Era-MG.

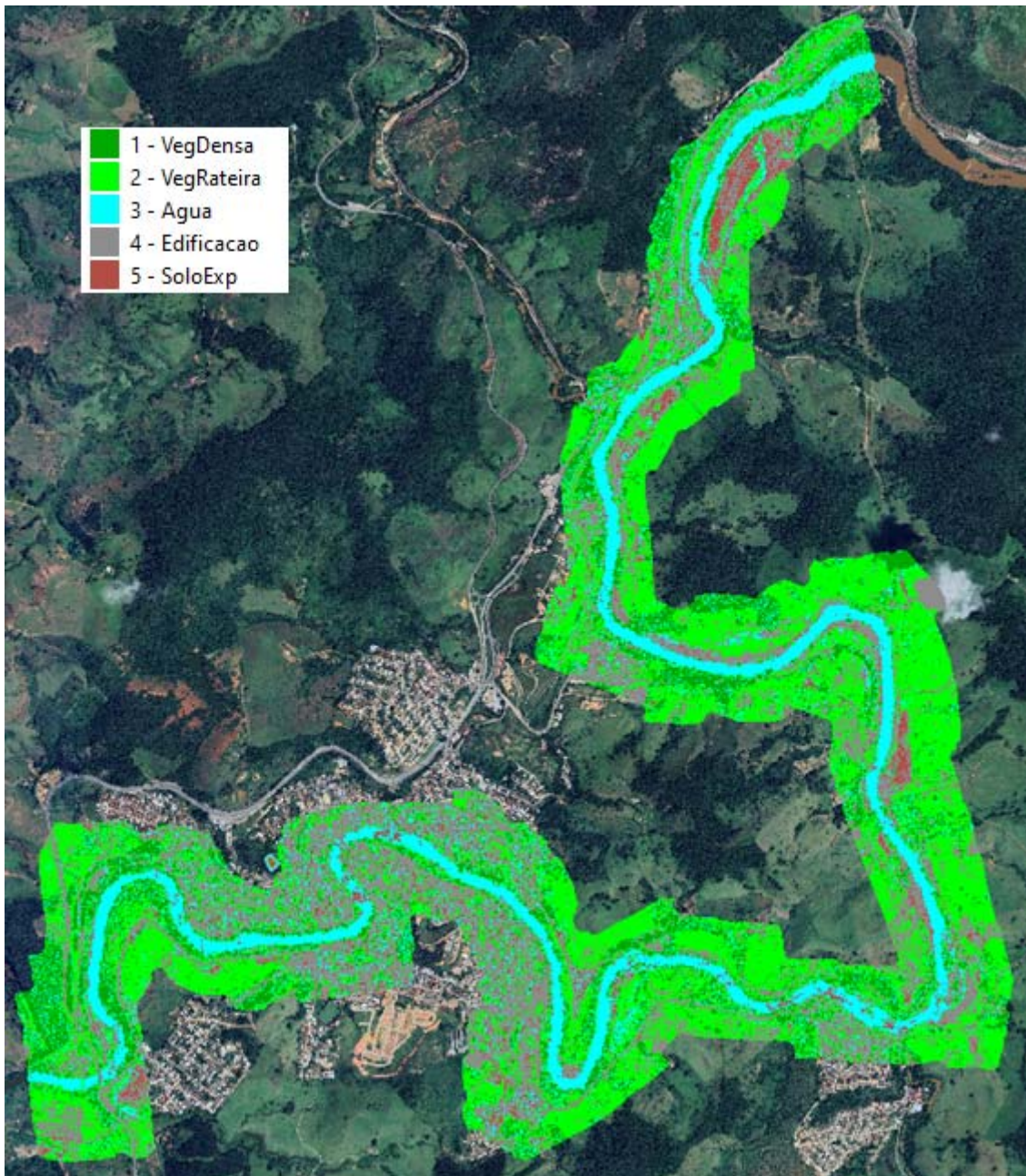


Figura 17 – Classificação de uso e ocupação do solo em Nova Era-MG utilizada para a modelagem

Para cada um destes tipos de ocupação foi associado um coeficiente de rugosidade de Manning, de acordo com a Tabela 2, conforme recomendações de Chow (1988) e do próprio software HEC-RAS.

Tabela 2 – Coeficiente de rugosidade de Manning

Tipo	Coeficiente n
Calha do rio	0,035
Vegetação Rasteira	0,035
Vegetação Densa	0,100
Solo Exposto	0,030
Edificação	0,150

Elaborado pelo Autor (2023), baseado em Chow (1988)

2.4. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

2.4.1. CURVA-CHAVE

A curva-chave no trecho de Nova Era-MG é obtida para a estação Nova Era IV (56659998), onde são realizadas as medições de vazão pelas equipes do SGB-CPRM no contexto da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Para a estação Nova Era Telemétrica (56661000) são realizadas inferências da curva com base nos dados calculados de Nova Era IV (56659998).

A Tabela 3 apresenta os parâmetros da curva para a estação Nova Era IV (56659998), enquanto a Tabela 4 apresenta as vazões com passo de 10 cm para a mesma estação, até o limite de validade da curva, com as colunas representando o metro e as linhas o decímetro. De forma análoga, a Tabela 5 apresenta os parâmetros para Nova Era Telemétrica (56661000) e a Tabela 6 os valores de vazão.

Em ambos casos a equação da curva-chave é da forma:

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b$$

Onde:

Q – vazão, em m³/s;

a, b e h₀ – parâmetros da curva;

Tabela 3 – Parâmetros da Curva Chave de Nova Era IV (56659998), válidos a partir de 26/01/2020

a	h₀	b	Cota mínima (cm)	Cota máxima (cm)
40,8384	-0,06	1,545	10	130
50,3893	0,12	1,601	130	700

Tabela 4 – Vazões em Nova Era IV (56659998), metros nas colunas e decímetros nas linhas

Cota	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
0,00		44,7	138	274	442	638	859	1.105
0,10	2,41	51,4	150	289	460	659	883	
0,20	5,10	58,4	163	305	479	680	907	
0,30	8,42	65,7	175	321	498	701	930	
0,40	12,3	74,8	189	337	517	723	955	
0,50	16,7	84,4	202	354	536	745	979	
0,60	21,5	94,4	216	371	556	768	1.004	
0,70	26,7	105	230	388	576	790	1.029	
0,80	32,3	116	244	406	596	813	1.054	
0,90	38,3	127	259	424	617	836	1.079	

Tabela 5 – Parâmetros da Curva Chave de Nova Era Telemétrica (56661000), válidos a partir de 26/01/2020

a	ho	b	Cota mínima (cm)	Cota máxima (cm)
32,452	-0,09	1,953	10	130
71,610	0,40	1,409	130	700

Tabela 6 – Vazões em Nova Era Telemétrica (56661000), metros nas colunas e decímetros nas linhas

Cota	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
0,00		38,4	139	275	435	615	811	1.023
0,10		45,6	151	290	452	634	832	
0,20		53,4	164	306	470	653	852	
0,30		61,7	177	321	487	672	873	
0,40		71,6	190	337	505	692	894	
0,50	11,6	81,9	204	353	523	711	915	
0,60	15,7	92,6	217	369	541	731	936	
0,70	20,5	103,6	232	385	559	751	958	
0,80	25,8	115,0	246	402	578	771	979	
0,90	31,8	126,8	260	418	596	791	1.001	

Conforme será apresentado nos itens posteriores, a validade da curva era dada até 700 cm. Porém, com a inundação ocorrida no ano de 2022, em que a cota atingiu 828 cm na estação Nova Era IV (56659998) e 798 cm na estação Nova Era Telemétrica (56661000), foram instalados novos lances de régua.

Desta forma, para as simulações hidráulicas, o tramo superior da curva da estação Nova Era Telemétrica (56661000), referência para o SAH, foi estendido até a cota 1100 cm.

2.4.2. ZEROS DAS RÉGUAS E COTAS DE CHEIA

Em um levantamento topobatimétrico obtido da ANA (2021) foram cadastrados com GPS, as referências de níveis (RN) e as réguas das estações fluviométricas Nova Era IV (56659998) e Nova Era Telemétrica (56661000), permitindo, assim, calcular a cota ortométrica do nível zero da régua e obter níveis de água interrelacionados para qualquer evento de cheia, em relação ao nível do mar.

A Tabela 7 mostra as cotas obtidas para as RN da Nova Era IV (56659998). A obtenção do zero da régua é realizada pela subtração do nível obtido com o GPS da leitura realizada na RN. Nota-se que a primeira RN da estação Nova Era IV (56659998) apresentou uma diferença significativa, tendo sido excluída de qualquer outra consideração para estes trabalhos. A Tabela 8 apresenta os mesmos tipos de dados, para a estação Nova Era Telemétrica (56661000).

Por fim, os resultados estão sintetizados na Tabela 9.

Tabela 7 – Cálculo da cota zero da régua para Nova Era IV (56659998)

RRNN	Leitura	Zero
513,423	4,950	508,473*
515,249	5,671	509,578
515,109	5,528	509,581

* valor inconsistente, desconsiderado das análises

Elaborado pelo Autor (2021), com dados da seção PC-0027

Tabela 8 – Cálculo da cota zero da régua para Nova Era Telemétrica (56661000)

RRNN	Leitura	Zero
514,629	6,756	507,873
514,491	6,609	507,882

Elaborado pelo Autor (2021), com dados da seção PC-0031

Tabela 9 – Cota zero da régua para as estações

Estação	Cota
Nova Era IV	509,58
Nova Era Telemétrica	507,88

Elaborado pelo Autor (2021), com dados da seção PC-0031

2.5. VAZÕES

2.5.1. ZEROS DAS RÉGUAS E COTAS DE CHEIA

A análise de frequência de eventos extremos de vazões tem como objetivo permitir a estimativa de valores associados a uma probabilidade de excedência, ou seja, a probabilidade de ocorrer um evento de cheia com magnitude igual ou maior a um certo valor. O tempo de retorno é definido como a média de tempo entre ocorrências de um evento com uma certa magnitude ou maior. Por exemplo, uma vazão com 25 anos de tempo de retorno é a vazão que é igualada ou excedida em média uma vez a cada 25 anos considerando um longo período de tempo. Isto não significa que a excedência ocorre de 25 em 25 anos, e sim que o tempo médio entre as excedências é de 25 anos.

Assim, se a excedência ocorre em média uma vez a cada 25 anos, então a probabilidade que o evento ocorra em um ano qualquer é o inverso desse valor, da forma $1/25=0,04$, ou seja, 4%.

Os estudos de vazões máximas tiveram como base o trabalho desenvolvido por Castilho (2019) para a estação de Nova Era IV (56659998), contemplando as vazões máximas anuais de anos hidrológicos entre o período entre 1938 a 2019. No presente estudo, foi realizada uma atualização da série, contemplando até o evento do ano hidrológico 2022/2023.

Ressalta-se que apesar da estação Nova Era Telemétrica (56661000) ser a referência para o alerta do município, esta foi instalada devido à estrutura, segurança e acessos para os equipamentos de transmissão automática, se tornando a referência de níveis de inundação do município. Entretanto, a estação Nova Era IV (56659998) é o ponto de monitoramento mais antigo e com a maior série de dados, sendo a referência para estudos estatísticos.

A Tabela 10 apresenta as vazões máximas anuais do período.

Tabela 10 – Vazões máximas anuais na estação Nova Era IV (56659998)

Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)
1938	359	1960	489	1982	-	2004	492
1939	603	1961	756	1983	-	2005	634
1940	240	1962	297	1984	-	2006	365
1941	438	1963	560	1985	-	2007	322
1942	462	1964	590	1986	-	2008	353
1943	683	1965	480	1987	-	2009	614
1944	641	1966	627	1988	-	2010	343
1945	562	1967	427	1989	-	2011	302
1946	552	1968	345	1990	554	2012	664
1947	492	1969	446	1991	775	2013	286
1948	698	1970	334	1992	689	2014	374
1949	576	1971	193	1993	562	2015	205
1950	429	1972	388	1994	270	2016	475
1951	607	1973	461	1995	554	2017	367
1952	550	1974	-	1996	687	2018	457
1953	522	1975	215	1997	1064	2019	229
1954	310	1976	162	1998	396	2020	1079
1955	574	1977	851	1999	198	2021	431
1956	388	1978	748	2000	395	2022	1452
1957	464	1979	853	2001	224	2023	613
1958	517	1980	586	2002	533		
1959	216	1981	-	2003	814		

Elaborado por Castilho (2019) e Autor (2023)

Foram realizados testes não paramétricos de independência (Kendall), homogeneidade (Mann-Kendall) e para identificação de outliers (Grubbs & Beck), conforme recomendado em Naghettini e Pinto (2007), apresentado resultados dentro do limite de aceitação.

Diversas distribuições estatísticas, como Gumbel, Log-Pearson III, Exponencial e Generalizada de Valores Extremos (GEV) foram ajustadas aos dados (Figura 18) tendo o modelo distributivo de Gumbel mostrado melhor aderência, sendo selecionada para continuidade dos estudos, com parâmetro de posição (μ) igual a 407,600 e escala (α) igual a 170,600.

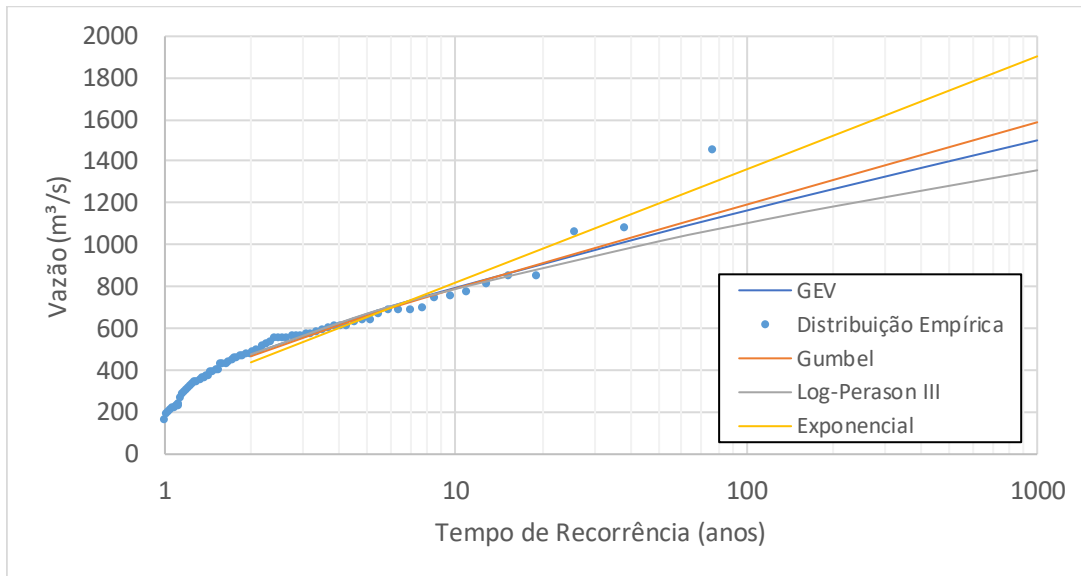


Figura 18 – Ajuste de distribuições de probabilidade sobre os dados de Nova Era IV (56659998)

Uma vez estimados os parâmetros da distribuição de Gumbel, pode-se calcular o quantil Q_T , correspondente a um determinado período de retorno T , por meio da seguinte equação:

Para a determinação dos quantis de cheia, utilizou-se a equação a seguir:

$$Q_T = \mu - \alpha \cdot \left(\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)$$

Onde:

μ - parâmetro de posição;

α – parâmetro de escala;

T – tempo de recorrência, em anos.

Assim, a Tabela 11 apresenta as vazões associadas aos tempos de retorno do local.

Tabela 11 – Vazões associadas a diferentes tempos de recorrência

Tempo de recorrência (anos)	Vazão (m³/s)
2	470
5	663
10	792
25	953
50	1.073
100	1.192
1000	1.586

Elaborado pelo Autor (2023)

Nota-se que a vazão atribuída à inundação de Nova Era, 559 m³/s, apresenta um tempo de retorno baixo (alta probabilidade de ocorrência), calculado como 3 anos, reforçando a alta frequência de inundações observadas na cidade.

2.5.2. COTAS E VAZÕES DE ALERTA

Conforme pode ser observado no portal do Sistema de Alerta de Eventos Críticos do SGB-CPRM (<https://www.sgb.gov.br/sace/>), para o SAH Doce, considera-se que a inundação no município se inicia na cota 470 cm, sempre com referência à estação Nova Era Telemétrica (56661000).

Como forma de se obter resultados de manchas de inundação em cotas de interesse para os órgãos institucionais, do município e demais usuários, foi realizada uma análise partindo da cota de inundação, 470cm, posteriormente a cota 500 cm e, em passos de 50 cm, até a cota 1100 cm.

Conforme supracitado, a validade prevista para o tramo alto da curva chave é de 130 cm até 700 cm. Entretanto, devido à menores informações e incertezas relacionadas às cotas superiores, a curva-chave foi extrapolada. Assim, na Tabela 12, são apresentadas as leituras de régua de referência, as cotas ortométricas (relacionada ao nível do mar), calculadas somando-se a leitura de régua ao zero da estação, e sua respectiva vazão.

Tabela 12 – Leituras de Régua, cotas ortométricas e vazões de interesse para a estação Nova Era Telemétrica (56661000)

Leitura de régua (cm)	Cota (m)	Vazão (m ³ /s)
470	512,58	559
500	512,88	615
550	513,38	711
600	513,88	811
650	514,38	915
700	514,88	1023
750	515,38	1133
800	515,88	1247
828	516,16	1313
850	516,38	1365
900	516,88	1485
950	517,38	1608
1000	517,88	1734
1050	518,38	1862
1100	518,88	1994

2.6. LEVANTAMENTO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO EM CAMPO

Na primeira versão da mancha de inundação de Nova Era, citou-se o evento de cheia de 25/01/2020, no ano hidrológico de 2019/2020, onde foi atingida a vazão de pico de 1.079 m³/s, equivalente a um tempo de recorrência de 50 anos.

Entretanto, após a elaboração da primeira versão deste trabalho, outro evento atingiu a cidade, tendo ocorrido em 10/01/2022, onde foi constatado, em campo, que a cheia atingiu a cota 828 cm na estação Nova Era IV (56659998) o que equivale a uma vazão de 1.452 m³/s e um tempo de recorrência de, aproximadamente, 450 anos.

Na estação Nova Era Telemétrica (56661000), o nível atingiu 798 cm. Ressalta-se que esta é a maior cheia registrada no histórico da estação, que se iniciou em 1938 e superou o último lance de réguas, sendo esta informação obtida a partir do nivelamento das marcas de cheia em campo realizada posteriormente ao evento pelas equipes de hidrometria do SGB-CPRM.

Duas equipes do SGB-CPRM foram deslocadas para o município de Nova Era-MG e realizaram o cadastramento de 114 pontos da mancha de inundação em campo. Alguns destes pontos, quando próximos a referências de nível utilizadas para

levantamento das seções topobatimétricas e do VANT, foram nivelados em sua cota referenciada, ou seja, relacionada à altimetria de referência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Na impossibilidade desta amarração, foram anotadas as lâminas em relação ao terreno no local.

A Tabela 13 apresenta um resumo das informações dos pontos levantados em campo.

Tabela 13 – Pontos da mancha de inundação levantados em campo

Ponto	Lat/Long	Cota (m)	Prof. (m)	Ponto	Coordenadas	Cota (m)	Prof. (m)
PFZ 01	-19,76436868		0,00	PCMDZ 61	-19,76888063	517,86	
	-43,07871893				-43,0214874		
PFZ 02	-19,7643589		0,00	PCMD 62 - ALT	-19,76738886		1,73
	-43,07823144				-43,0321759		
PFZ 03	-19,77632128		0,00	PCMD 63 - ALT	-19,76675561		1,68
	-43,07269201				-43,0331881		
PCRZ 04	-19,7757212		0,00	PCMDZ 64	-19,76658839	517,68	
	-43,07069477				-43,03229827		
PFZ 05	-19,77957502		0,00	PCMD 65 - ALT	-19,765615		0,66
	-43,06205135				-43,03304158		
PFZ 06	-19,77967787		0,00	PCMDZ 66	-19,76455232	516,93	
	-43,06163225				-43,03343184		
PNVZ 07	-19,77762966		0,00	PCMDZ 67	-19,76416359	516,92	
	-43,05925783				-43,03307477		
PNVZ 08	-19,77754763		0,00	PCMD 68 - ALT	-19,76615107		0,94
	-43,05790834				-43,02800976		
PNVZ 09	-19,77751924		0,00	PCMDZ 69	-19,76634449	516,26	
	-43,05539075				-43,0279474		
PNVZ 10	-19,77775555		0,00	PCMDZ 70	-19,76698752	516,26	
	-43,05688508				-43,02663378		
PNVZ 11	-19,77726495		0,00	PCMD 71 -ALT	-19,76767188		2,20
	-43,05458073				-43,02559812		
PPMEZ 12	-19,77421498	519,52		PCMDZ 72	-19,76823382	515,84	
	-43,04618139				-43,02587003		
PPMEZ 13	-19,77333345	518,98		PCMD 73 - ALT	-19,76834457		2,77
	-43,04551821				-43,02505631		
PPME 14 - ALT	-19,7723437		2,55	PCMD 74 -ALT	-19,76858909		1,35
	-43,04569054				-43,02534666		
PPMEZ 15	-19,77186002	518,92		PCMDZ 75	-19,76872445	515,84	
	-43,04621793				-43,02565444		
PCMEZ 16	-19,76678748	518,82		PCMD 76 -ALT	-19,76880838		2,80
	-43,04574821				-43,02450579		

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Lat/Long	Cota (m)	Prof. (m)	Ponto	Coordenadas	Cota (m)	Prof. (m)
PCMEZ 17	-19,76632871	518,82		PCMDZ 77	-19,7893679		2,30
	-43,04584745				-43,02506737		
PCMEZ 18	-19,76538593	518,71		PCMD 78 - ALT	-19,77016888		2,84
	-43,04509476				-43,02465163		
PCMEZ 19	-19,76518305	518,71		PCMDZ 79	-19,77044054	515,69	
	-43,042318				-43,02579425		
PCMEZ 20	-19,76756745	518,08		PCMDZ 80	-19,77104317	515,69	
	-43,04105099				-43,02587707		
PCMEZ 21	-19,76793597	518,08		PCMDZ 81	-19,77116558	515,69	
	-43,04028489				-43,02577581		
PCMEZ 22	-19,76808805	518,01		PCMD 82 - ALT	-19,77111384		1,75
	-43,03940579				-43,02515186		
PCMEZ 23	-19,76792651	518,03		PCMD 83 - ALT	-19,77132145		2,45
	-43,03783234				-43,02430194		
PCME 24 - ALT	-19,76811613		2,10	PCMD 84 - ALT	-19,77193732		2,70
	-43,03655863				-43,02467711		
PCMEZ 25	-19,7678268	518,02		PCMDZ 85	-19,77184583	515,61	
	-43,03610735				-43,02530173		
PCME 26 -ALT	-19,76795964		2,95	PCMD 86 - ALT	-19,77232225		0,60
	-43,03515986				-43,02522965		
PCMEZ 27	-19,76753463	517,63		PCMD 87 - ALT	-19,77331925		0,50
	-43,03457715				-43,02521724		
PCMEZ 28	-19,76736204		0,00	PCMD 88 - ALT	-19,77334797		2,65
	-43,03382412				-43,02458223		
PCMEZ 29	-19,76686194	517,68		PCMDZ 89	-19,77411402	515,57	
	-43,03393476				-43,02514583		
PCME 30- ALT	-19,76632272		2,70	PCMDZ 90	-19,7747974	515,52	
	-43,03389419				-43,02448098		
PCMEZ 31	-19,776560743	517,17		PFFME 91 -ALT	-19,76828241		0,57
	-43,03469248				-43,01842086		
PCME 32-ALT	-19,76632272		2,62	PPMDZ 92	-19,77173603	512,39	
	-43,03389419				-43,01008053		
PCMEZ 33	-19,76414718	517,19		PPMD 93 - ALT	-19,7719083		0,76
	-43,03534023				-43,00964199		
PCMEZ 34	-19,76345302	517,19		PPMDZ 94	-19,77225473	512,39	
	-43,03453591				-43,00894763		
PCMEZ 35	-19,76344924	517,19		PMEBC 95- ALT	-19,75001794		1,42
	-43,03428914				-43,02206028		
PCME 36 -ALT	-19,763483		2,14	PMEBCZ 96	-19,75026565		0,00
	-43,03355498				-43,0225357		
PCMEZ 37	-19,76296932	516,55		PMEBC 97 - ALT	-19,74941176		2,20
	-43,03246558				-43,02218165		
PCMEZ 38	-19,76295575	516,54		PMEBCZ 98	-19,7496825		0,00
	-43,03103294				-43,02285388		
PCME 39 - ALT	-19,76347827		2,51	PMEBC 99 - ALT	-19,74883555		2,56

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Lat/Long	Cota (m)	Prof, (m)	Ponto	Coordenadas	Cota (m)	Prof, (m)
	-43,03000934				-43,02250721		
PCMEZ 40	-19,76296774	516,53		PMEBCZ 100	-19,74893622		0,00
	-43,02936293				-43,02318279		
PCME 41 -ALT	-19,7636253		1,62	PMERPZ 101	-19,74312673		0,00
	-43,02899245				-43,0227942		
PCMEZ 42	-19,76336341	516,38		PMDRPZ 102	-19,74312673		0,00
	-43,02853111				-43,0227942		
PCME 43 - ALT	-19,76397585		1,98	PMDRP 103 - ALT	-19,74312673		1,10
	-43,02824244				-43,0227942		
PCMEZ 44	-19,76335338	516,27		PMDRPZ 104	-19,74387588		0,00
	-43,02762922				-43,02158888		
PCME 45 - ALT	-19,76426677		2,51	PMDRPZ 105	-19,74101315		0,00
	-43,02752595				-43,0210967		
PCMEZ 46	-19,76385848	516,27		PMDRP 106 - ALT	-19,74386831		0,78
	-43,02693889				-43,02135989		
PCME 47 - ALT	-19,76486469		2,28	PMEDZ 107	-19,74164071		0,00
	-43,0261711				-43,01832832		
PCMEZ 48	-19,76538088	517,27		PMEDZ 108	-19,74104334		0,00
	-43,02564874				-43,01798299		
PCMEZ 49	-19,76566896	517,27		PMED 109 - ALT	-19,74118408		1,88
	-43,02555956				-43,01748913		
PCME 50-ALT	-19,76610911		0,75	PMED 110 - ALT	-19,74089407		1,60
	-43,0253537				-43,01727455		
PCME 51 -ALT	-19,76664455		2,40	PMEDZ 111	-19,74057061		1,75
	-43,02514616				-43,01709753		
PCMEZ 52	-19,76685122	516,03		PMEDZ 112	-19,74039042		0,00
	-43,02457888				-43,01712133		
PCMDZ 53	-19,76935895	517,93		PMEDZ 113	-19,73969616		0,00
	-43,03870473				-43,01785894		
PCMD 54 - ALT	-19,76914693		3,05	PMEDZ 114	-19,73880466		0,00
	-43,03649358				-43,01801283		
PCMD 55 -ALT	-19,76902167		2,65				
	-43,03520545						
PCMDZ 56	-19,76939082	517,81					
	-43,0348105						
PCMDZ 57	-19,76905259	517,92					
	-43,03405613						
PCMD 58 -ALT	-19,76884498		1,76				
	-43,03382009						
PCMDZ 59	-19,76860171	517,92					
	-43,03282198						
PCMD 60 - ALT	-19,76852851		1,84				

2.7. MODELO HIDRÁULICO

Conforme mencionado anteriormente, para a elaboração destes trabalhos foi utilizado o software HEC-RAS em sua versão 6.3.1.

Para representação da topografia, foi utilizado o MDS obtido pelo VANT, conforme apresentado em item específico deste relatório. A rugosidade foi obtida a partir da classificação supervisionada do uso e ocupação do solo e sua integração com os coeficientes de rugosidade de Manning.

As vazões, por sua vez, consistiram em valores referentes à cota de inundação do município e, posteriormente, cotas com passo de 50 cm até atingir a cota 1100 cm, além das simulações de vazões referentes aos diversos tempos de recorrência apresentados neste relatório.

2.7.1. LIMITES DA SIMULAÇÃO

As simulações foram limitadas ao alcance do levantamento do VANT, o que tornou necessário o descarte da seção topobatimétrica PC-0025. A Figura 19 apresenta um croqui da área limite do levantamento.

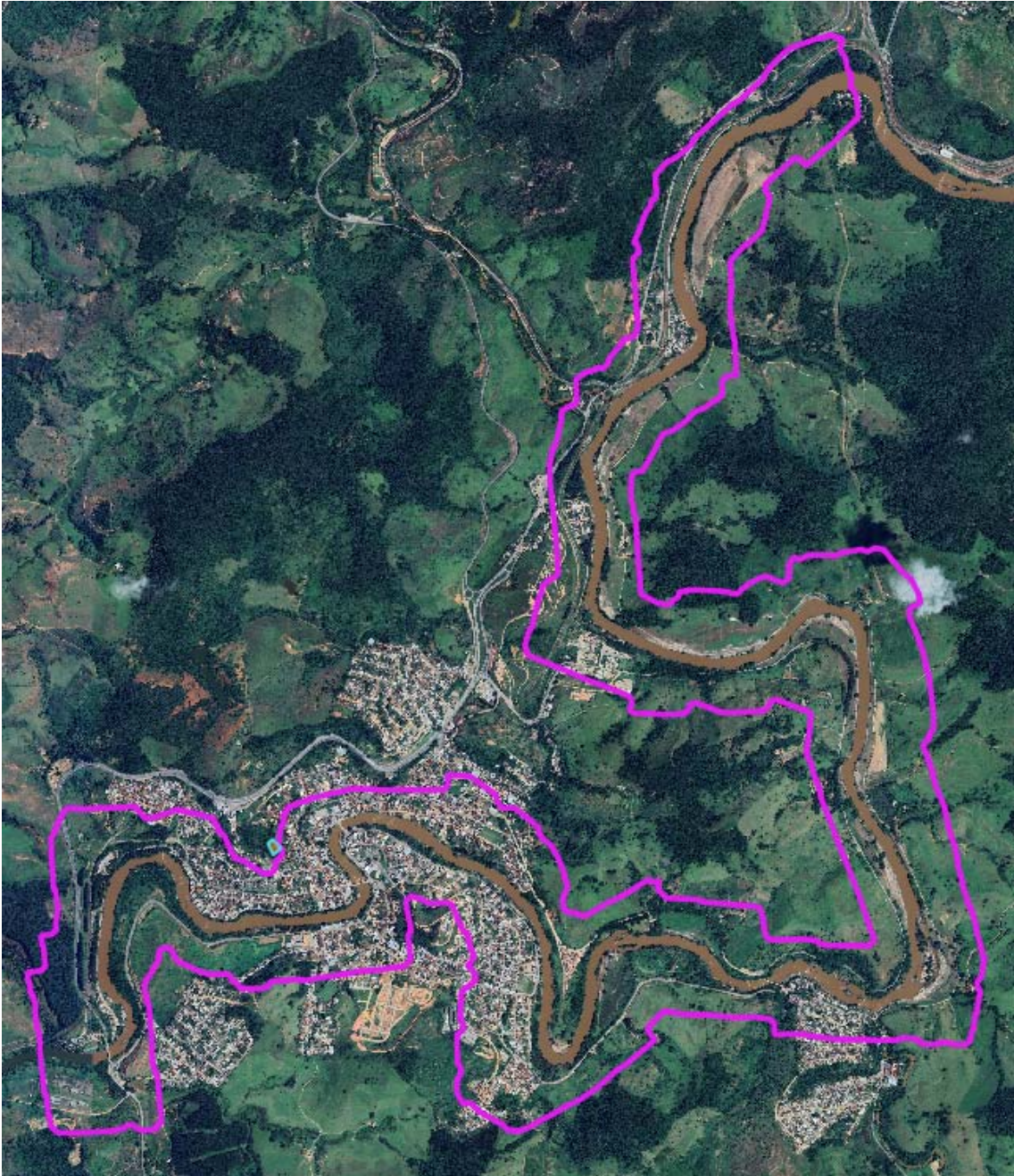


Figura 19 – Área de levantamento do VANT

2.7.2. MALHA 2D E ÁREAS DE REFINAMENTO

A malha bidimensional foi delimitada para toda a região de interesse do estudo, com células de 25 x 25 cm, destacadas em cinza na Figura 20.

Para melhor caracterização do escoamento nas áreas de interesse, foram determinadas áreas de refino da malha computacional, com células de 5 x 5 cm, delimitadas na Figura 20 em vermelho. A Figura 21 apresenta um exemplo de transição entre as duas diferentes malhas.

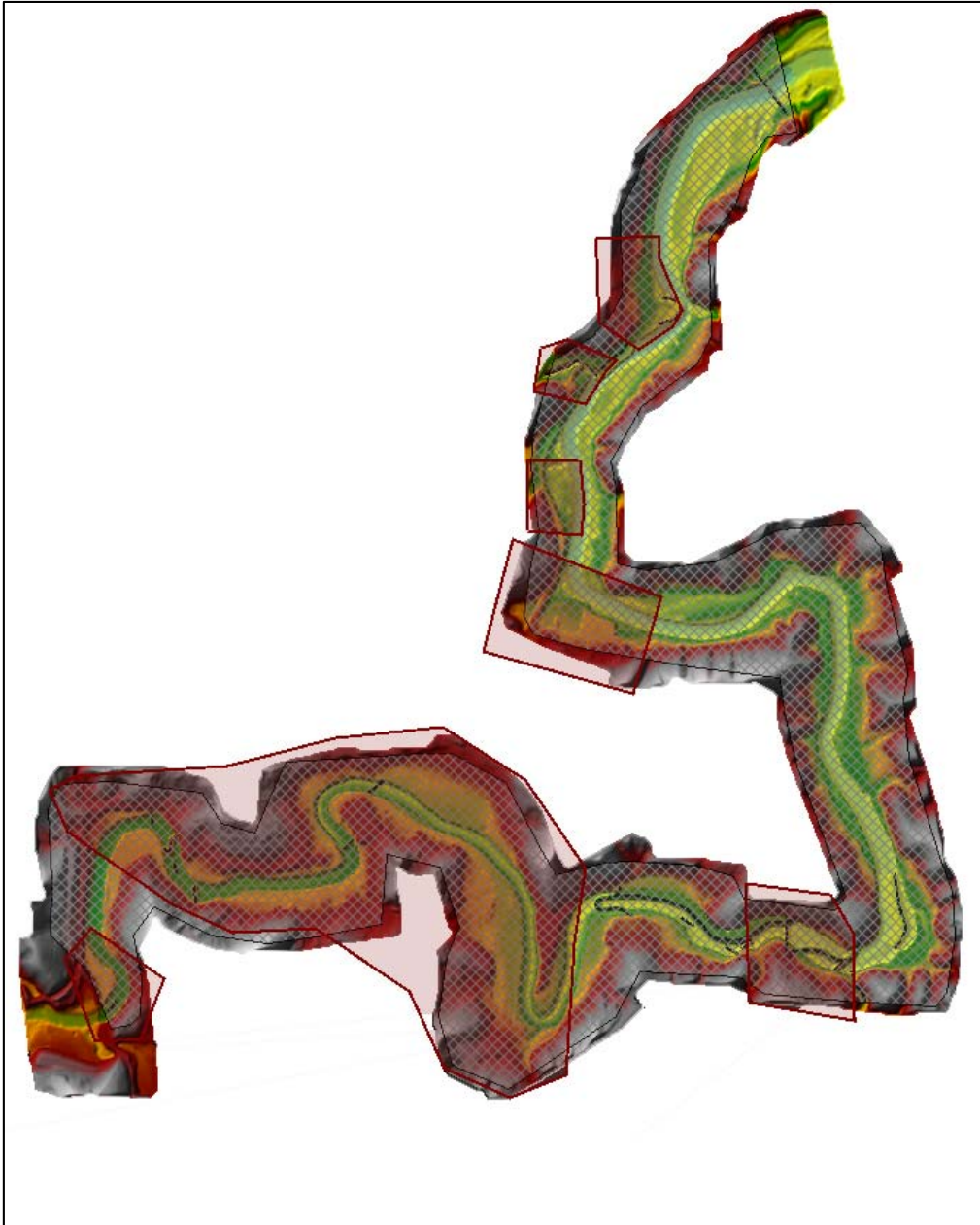


Figura 20 – Delimitação da área 2D principal e áreas de refinamento



Figura 21 – Exemplo de transição da malha 25x25 para a malha 5x5

2.7.3. VAZÃO NOS AFLUENTES

Conforme citado anteriormente, no trecho de interesse dos estudos há afluentes pelas margens esquerda e direita do rio Piracicaba. Dada a extensão da malha de simulação, os rios da Prata e Peixe foram inseridos no modelo.

Como não há estações de monitoramento fluviométrico nestes rios, foi realizada uma transposição de vazões por correlação direta de áreas de drenagem, de forma a simular a entrada de água no sistema. Optou-se por utilizar uma vazão de recorrência baixa, considerando que as cheias dos rios são independentes entre si.

Assim, a vazão de TR 2 anos, 458 m³/s, foi transposta para o rio da Prata, obtendo-se uma vazão de 67 m³/s; e para o rio do Peixe, obtendo-se uma vazão de 61 m³/s.

2.7.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Tal como necessário nos modelos unidimensionais, os modelos bidimensionais necessitam de condições de contorno que lhes permitam realizar cálculos de velocidades e níveis de água para simular a entrada e a saída de água do sistema. A condição de contorno mais utilizada nos modelos hidráulicos é a declividade da linha de energia, normalmente aproximada para a declividade da linha d'água em condições de escoamento plenamente desenvolvidas.

A condição de contorno de montante foi obtida a partir dos níveis de água das seções PC-0026 e PC-0027. O nível de água na PC-0026 era de 512,55 m e da PC-0027 era de 509,92 m, no dia 16/12/2017. Considerando a distância de 2.185 m entre as seções, tem-se uma declividade de 0,12%.

A condição de contorno de jusante foi determinada de forma análoga, utilizando as seções batimétricas PC-0033 e PC-0034, uma vez que a seção PC-0035 foi levantada em data significativamente distinta. O nível de água nas seções era de 504,51 m e 503,26 m, com uma distância entre elas de 1.972 m, o que perfaz uma declividade de 0,063%, no dia 20/12/2017.

Para os afluentes considerados na simulação, adotou-se um valor médio 0,10% dada a falta de informações nos mesmos. Entende-se que esses valores médios são razoáveis para fins de modelagem e não são capazes de impactar significativamente os resultados obtidos.

2.7.5. CALIBRAÇÃO

Para utilizar o modelo é necessário calibrá-lo, ou seja, usar um grupo de dados para definir os parâmetros do modelo e outro para reproduzir o fenômeno numa situação distinta.

Para este caso específico, a vazão de simulação foi aquela ocorrida no evento de 10/01/2022, correspondente a 1.452 m³/s e cota de 828 cm na estação Nova Era IV (56659998); e 798 cm na estação Nova Era Telemétrica (56661000), sendo que os

resultados obtidos em toda a extensão do trecho foram comparados com os 114 pontos levantados em campo.

Adicionalmente, foi feita a simulação para a vazão $559 \text{ m}^3/\text{s}$, referente ao início da inundação de Nova Era-MG, comparando apenas com os resultados das réguas de Nova Era IV (56659998) e Nova Era Telemétrica (56661000), por serem as informações conhecidas.

O parâmetro variável na calibração é o coeficiente de rugosidade de Manning, que deve ser alterado em sua cobertura correspondente até que se obtenham níveis de água próximos aos observados.

Para comparação, são utilizadas cotas levantadas em campo pelas equipes do SGB-CPRM durante a campanha. Foram realizadas simulações prévias e realizadas comparações entre as cotas, ou profundidades, dos pontos levantados em campo e os resultados obtidos na modelagem.

Inicialmente, foi realizado um teste de sensibilidade das coberturas. Notou-se que, para vazões mais baixas, os parâmetros de “Edificações”, “Calha do Rio” e “Solo Exposto” apresentavam maior relevância, causando maiores alterações nos níveis de água. Para vazões mais altas, o parâmetro de “Solo Exposto” apresenta maior sensibilidade. Assim, para ajuste de cotas mais baixas, priorizou-se os parâmetros “Edificações” e “Calha do Rio” e, para as cotas mais altas “Solo Exposto”.

Por ser um método iterativo, em que a alteração de parâmetros para cotas baixas tem alguma influência sobre as cotas altas e vice-versa, há necessidade de diversas simulações até que se obtenha o resultado desejado.

No presente estudo foram registadas 62 simulações no modelo até que os resultados estivessem dentro do considerado satisfatório. Cada simulação levou em torno de 25 minutos, o que totaliza um tempo computacional, apenas para calibração, de 26 horas.

Os parâmetros do coeficiente de Manning resultantes apresentaram-se diferentes dos recomendados pela literatura, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Coeficiente de rugosidade de Manning finais

Tipo	Manning Inicial	Manning Final
Calha do rio	0,035	0,012
Vegetação Rasteira	0,035	0,100
Vegetação Densa	0,100	0,100
Solo Exposto	0,030	0,400
Edificação	0,150	0,038

A Tabela 15 apresenta o resultado da calibração, para cada um dos pontos levantados em campo. O somatório das diferenças, erros positivos e negativos de todos os pontos, apresentou um resultado de -2,47m, ou seja, um valor baixo para a quantidade de pontos realizada no levantamento.

Desta forma, considerou-se o modelo calibrado e apto a ser utilizado para a modelagem de outras vazões.

Tabela 15 – Cotas observadas e simuladas na calibração

Ponto	Coordenadas	Cota obs. (m)	Cota sim. (m)	Prof. obs. (m)	Prof. sim. (m)	Diferença (m)	Observação																																																																																																									
PFZ 01	-19,76436868			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,07871893							PFZ 02	-19,7643589			0,00			Fora da área	-43,07823144			PFZ 03	-19,77632128			0,00			Fora da área	-43,07269201			PCRZ 04	-19,7757212			0,00			Fora da área	-43,07069477			PFZ 05	-19,77957502			0,00			Fora da área	-43,06205135			PFZ 06	-19,77967787			0,00			Fora da área	-43,06163225			PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área	-43,05925783			PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00	
PFZ 02	-19,7643589			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,07823144							PFZ 03	-19,77632128			0,00			Fora da área	-43,07269201			PCRZ 04	-19,7757212			0,00			Fora da área	-43,07069477			PFZ 05	-19,77957502			0,00			Fora da área	-43,06205135			PFZ 06	-19,77967787			0,00			Fora da área	-43,06163225			PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área	-43,05925783			PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073								
PFZ 03	-19,77632128			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,07269201							PCRZ 04	-19,7757212			0,00			Fora da área	-43,07069477			PFZ 05	-19,77957502			0,00			Fora da área	-43,06205135			PFZ 06	-19,77967787			0,00			Fora da área	-43,06163225			PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área	-43,05925783			PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																			
PCRZ 04	-19,7757212			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,07069477							PFZ 05	-19,77957502			0,00			Fora da área	-43,06205135			PFZ 06	-19,77967787			0,00			Fora da área	-43,06163225			PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área	-43,05925783			PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																														
PFZ 05	-19,77957502			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,06205135							PFZ 06	-19,77967787			0,00			Fora da área	-43,06163225			PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área	-43,05925783			PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																																									
PFZ 06	-19,77967787			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,06163225							PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área	-43,05925783			PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																																																				
PNVZ 07	-19,77762966			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,05925783							PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área	-43,05790834			PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																																																															
PNVZ 08	-19,77754763			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,05790834							PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área	-43,05539075			PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																																																																										
PNVZ 09	-19,77751924			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,05539075							PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área	-43,05688508			PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																																																																																					
PNVZ 10	-19,7775555			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,05688508							PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área	-43,05458073																																																																																																
PNVZ 11	-19,77726495			0,00			Fora da área																																																																																																									
	-43,05458073																																																																																																															

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Coordenadas	Cota obs. (m)	Cota sim. (m)	Prof. obs. (m)	Prof. sim. (m)	Diferença (m)	Observação
PPMEZ 12	-19,77421498	519,52					Fora da área
	-43,04618139						
PPMEZ 13	-19,77333345	518,98	519,09			0,11	
	-43,04551821						
PPME 14 - ALT	-19,7723437			2,55	2,78	0,23	
	-43,04569054						
PPMEZ 15	-19,77186002	518,92	519,10			0,18	
	-43,04621793						
PCMEZ 16	-19,76678748	518,82	519,00			0,18	
	-43,04574821						
PCMEZ 17	-19,76632871	518,82	519,00			0,18	
	-43,04584745						
PCMEZ 18	-19,76538593	518,71	518,98			0,27	
	-43,04509476						
PCMEZ 19	-19,76518305	518,71	518,91			0,20	
	-43,042318						
PCMEZ 20	-19,76756745	518,08	518,08			0,00	
	-43,04105099						
PCMEZ 21	-19,76793597	518,08	518,06			-0,02	
	-43,04028489						
PCMEZ 22	-19,76808805	518,01	518,02			0,01	
	-43,03940579						
PCMEZ 23	-19,76792651	518,03	518,07			0,04	
	-43,03783234						
PCME 24 - ALT	-19,76811613			2,10	2,37	0,27	
	-43,03655863						
PCMEZ 25	-19,7678268	518,02	517,93			-0,09	
	-43,03610735						
PCME 26 - ALT	-19,76795964			2,95	3,22	0,27	
	-43,03515986						
PCMEZ 27	-19,76753463	517,63	517,92			0,28	
	-43,03457715						
PCMEZ 28	-19,76736204			0,00	-0,55	-0,55	
	-43,03382412						
PCMEZ 29	-19,76686194	517,68	517,52			-0,16	
	-43,03393476						
PCME 30- ALT	-19,76632272			2,70	2,95	0,25	
	-43,03389419						
PCMEZ 31	-19,776560743	517,17	517,22			0,05	
	-43,03469248						
PCME 32- ALT	-19,76632272			2,62	2,95	0,33	
	-43,03389419						
PCMEZ 33	-19,76414718	517,19	517,20			0,02	
	-43,03534023						
PCMEZ 34	-19,76345302	517,19	517,20			0,01	

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Coordenadas	Cota obs. (m)	Cota sim. (m)	Prof. obs. (m)	Prof. sim. (m)	Diferença (m)	Observação
	-43,03453591						
PCMEZ 35	-19,76344924	517,19	517,18			0,00	
	-43,03428914						
PCME 36 - ALT	-19,763483			2,14	2,15	0,01	
	-43,03355498						
PCMEZ 37	-19,76296932	516,55	517,18			0,63	
	-43,03246558						
PCMEZ 38	-19,76295575	516,54	515,85			-0,68	
	-43,03103294						
PCME 39 - ALT	-19,76347827			2,51	1,98	-0,53	
	-43,03000934						
PCMEZ 40	-19,76296774	516,53	515,81			-0,72	
	-43,02936293						
PCME 41 - ALT	-19,7636253			1,62	1,19	-0,43	
	-43,02899245						
PCMEZ 42	-19,76336341	516,38	515,78			-0,60	
	-43,02853111						
PCME 43 - ALT	-19,76397585			1,98	1,66	-0,32	
	-43,02824244						
PCMEZ 44	-19,76335338	516,27	515,75			-0,51	
	-43,02762922						
PCME 45 - ALT	-19,76426677			2,51	2,18	-0,33	
	-43,02752595						
PCMEZ 46	-19,76385848	516,27	515,74			-0,53	
	-43,02693889						
PCME 47 - ALT	-19,76486469			2,28	2,05	-0,23	
	-43,02617111						
PCMEZ 48	-19,76538088	517,27					Ponto desconsiderado, por possuir cota superior ao ponto de montante
	-43,02564874						
PCMEZ 49	-19,76566896	517,27					Ponto desconsiderado, por possuir cota superior ao ponto de montante
	-43,02555956						
PCME 50 - ALT	-19,76610911			0,75	0,82	0,07	
	-43,0253537						
PCME 51 - ALT	-19,76664455			2,40	2,29	-0,11	
	-43,02514616						
PCMEZ 52	-19,76685122	516,03	515,65			-0,38	
	-43,02457888						
PCMDZ 53	-19,76935895	517,93	518,01			0,08	
	-43,03870473						
PCMD 54 - ALT	-19,76914693			3,05	2,92	-0,13	
	-43,03649358						
PCMD 55 - ALT	-19,76902167			2,65	2,91	0,26	
	-43,03520545						
PCMDZ 56	-19,76939082	517,81	517,93			0,12	
	-43,0348105						

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Coordenadas	Cota obs. (m)	Cota sim. (m)	Prof. obs. (m)	Prof. sim. (m)	Diferença (m)	Observação
PCMDZ 57	-19,76905259	517,92	517,91			-0,01	
	-43,03405613						
PCMD 58 -ALT	-19,76884498			1,76	1,66	-0,10	
	-43,03382009						
PCMDZ 59	-19,76860171	517,92	517,89			-0,03	
	-43,03282198						
PCMD 60 - ALT	-19,76852851			1,84	2,06	0,22	
	-43,0323432						
PCMDZ 61	-19,76888063	517,86					Ponto desconsiderado, por possuir cota superior ao ponto de montante
	-43,0214874						
PCMD 62 - ALT	-19,76738886			1,73	1,88	0,15	
	-43,0321759						
PCMD 63 - ALT	-19,76675561			1,68			Ponto desconsiderado por ter sido levantado sobre a ponte.
	-43,0331881						
PCMDZ 64	-19,76658839	517,68	517,85			0,17	
	-43,03229827						
PCMD 65 - ALT	-19,765615			0,66	1,18	0,52	
	-43,03304158						
PCMDZ 66	-19,76455232	516,93	517,17			0,24	
	-43,03343184						
PCMDZ 67	-19,76416359	516,92	517,11			0,20	
	-43,03307477						
PCMD 68 - ALT	-19,76615107			0,94	0,80	-0,14	
	-43,02800976						
PCMDZ 69	-19,76634449	516,26	515,73			-0,53	
	-43,0279474						
PCMDZ 70	-19,76698752	516,26	515,68			-0,57	
	-43,02663378						
PCMD 71 -ALT	-19,76767188			2,20	2,09	-0,12	
	-43,02559812						
PCMDZ 72	-19,76823382	515,84	515,60			-0,24	
	-43,02587003						
PCMD 73 - ALT	-19,76834457			2,77	2,72	-0,05	
	-43,02505631						
PCMD 74 -ALT	-19,76858909			1,35	1,71	0,36	
	-43,02534666						
PCMDZ 75	-19,76872445	515,84	515,58			-0,26	
	-43,02565444						
PCMD 76 - ALT	-19,76880838			2,80	2,64	-0,16	
	-43,02450579						
PCMDZ 77	-19,7893679			2,30			Ponto desconsiderado por localização incorreta
	-43,02506737						
PCMD 78 - ALT	-19,77016888			2,84	2,18	-0,66	
	-43,02465163						
PCMDZ 79	-19,77044054	515,69	515,45			-0,23	

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Coordenadas	Cota obs. (m)	Cota sim. (m)	Prof. obs. (m)	Prof. sim. (m)	Diferença (m)	Observação
	-43,02579425						
PCMDZ 80	-19,77104317	515,69	515,45			-0,23	
	-43,02587707						
PCMDZ 81	-19,77116558	515,69	515,45			-0,23	
	-43,02577581						
PCMD 82 - ALT	-19,77111384			1,75	1,84	0,09	
	-43,02515186						
PCMD 83 - ALT	-19,77132145			2,45	2,38	-0,07	
	-43,02430194						
PCMD 84 - ALT	-19,77193732			2,70	2,47	-0,23	
	-43,02467711						
PCMDZ 85	-19,77184583	515,61	515,42			-0,19	
	-43,02530173						
PCMD 86 - ALT	-19,77232225			0,60	0,61	0,01	
	-43,02522965						
PCMD 87 - ALT	-19,77331925			0,50	0,58	0,08	
	-43,02521724						
PCMD 88 - ALT	-19,77334797			2,65	2,78	0,13	
	-43,02458223						
PCMDZ 89	-19,77411402	515,57	515,36			-0,21	
	-43,02514583						
PCMDZ 90	-19,7747974	515,52	515,34			-0,19	
	-43,02448098						
PFFME 91 - ALT	-19,76828241			0,57	0,87	0,30	
	-43,01842086						
PPMDZ 92	-19,77173603	512,39	512,26			-0,13	
	-43,01008053						
PPMD 93 - ALT	-19,7719083			0,76	0,55	-0,22	
	-43,00964199						
PPMDZ 94	-19,77225473	512,39	512,23			-0,15	
	-43,00894763						
PMEBC 95- ALT	-19,75001794			1,42	1,17	-0,25	
	-43,02206028						
PMEBCZ 96	-19,75026565			0,00	0,63	0,63	
	-43,0225357						
PMEBC 97 - ALT	-19,74941176			2,20	1,93	-0,27	
	-43,02218165						
PMEBCZ 98	-19,7496825			0,00	0,73	0,73	
	-43,02285388						
PMEBC 99 - ALT	-19,74883555			2,56	2,66	0,10	
	-43,02250721						
PMEBCZ 100	-19,74893622			0,00	-0,67	-0,67	
	-43,02318279						
PMERPZ 101	-19,74312673			0,00	-0,25	-0,25	
	-43,0227942						

Elaboração de manchas de inundação de Nova Era - MG

Ponto	Coordenadas	Cota obs. (m)	Cota sim. (m)	Prof. obs. (m)	Prof. sim. (m)	Diferença (m)	Observação
PMDRPZ 102	-19,74312673			0,00	-0,25	-0,25	
	-43,0227942						
PMDRP 103 - ALT	-19,74312673			1,10			Ponto descartado por erro de localização
	-43,0227942						
PMDRPZ 104	-19,74387588			0,00	0,46	0,46	
	-43,02158888						
PMDRPZ 105	-19,74101315			0,00			Ponto descartado por erro de localização
	-43,0210967						
PMDRP 106 - ALT	-19,74386831			0,78	0,87	0,09	
	-43,02135989						
PMEDZ 107	-19,74164071			0,00	0,00	0,00	
	-43,01832832						
PMEDZ 108	-19,74104334			0,00	0,02	0,02	
	-43,01798299						
PMED 109 - ALT	-19,74118408			1,88	2,09	0,21	
	-43,01748913						
PMED 110 - ALT	-19,74089407			1,60	2,12	0,52	
	-43,01727455						
PMEDZ 111	-19,74057061			1,75	1,99	0,24	
	-43,01709753						
PMEDZ 112	-19,74039042			0,00	0,24	0,24	
	-43,01712133						
PMEDZ 113	-19,73969616			0,00	-0,07	-0,07	
	-43,01785894						
PMEDZ 114	-19,73880466			0,00	0,83	0,83	

Já para as régua das estações Nova Era IV (56659998) e Nova Era Telemétrica (56661000), comparadas com a vazão de alerta, resultaram na Tabela 16.

Tabela 16 – Cotas observadas e simuladas na calibração para vazão de inundação, nas estações Nova Era IV (56659998) e Nova Era Telemétrica (56661000)

Estação	Vazão (m³/s)	Nível esperado (m)	Nível simulado (m)	Diferença (m)
Nova Era IV	559	514,19	514,00	-0,19
Nova Era Telemétrica	559	512,58	512,55	-0,03

2.7.6. VAZÕES SIMULADAS

Conforme citado anteriormente, foram feitas simulações tanto para obter referências de nível de interesse do alerta, entre as cotas 470 cm e 1100 cm, quanto para tempos de recorrência variando entre 2 e 100 anos. Na Tabela 17 apresentam-se as vazões simuladas e suas referências. Ressalta-se que as cotas são referentes a estação Nova Era Telemétrica (56661000).

Tabela 17 – Vazões Simuladas (Referentes à estação Nova Era -56661000)

Referência	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)
Cota 470cm	470	559
Cota 500cm	500	615
Cota 550cm	550	711
Cota 600cm	600	811
Cota 650cm	650	915
Cota 700cm	700	1023
Cota 750cm	750	1133
Cota 800cm	800	1247
Cota 828cm	828	1313
Cota 850cm	850	1365
Cota 900cm	900	1485
Cota 950cm	950	1608
Cota 1000cm	1000	1734
Cota 1050cm	1050	1862
Cota 1100cm	1100	1994
TR 2 anos	420	470
TR 5 anos	525	663
TR 10 anos	591	792
TR 25 anos	668	953
TR 50 anos	723	1073
TR 100 anos	776	1192
TR 1000 anos	941	1586

3 RESULTADOS

As manchas de inundação resultantes da simulação, para cada uma das cotas e períodos de retorno, encontram-se disponíveis como um apêndice em formato digital, dada a importância do detalhamento espacial na aplicação destes resultados. Apenas para fins ilustrativos, são apresentados dois mapas incluídos no apêndice deste relatório.

Em anexo, são apresentados ainda, além das fichas descritivas das estações, os arquivos do modelo HEC-RAS, o registro fotográfico da equipe de campo, a ortomagem obtida por drone e o modelo digital de superfície.

Os mapas e manchas de inundação elaborados para o município de Nova Era – MG podem ser visualizados também de forma interativa no portal do SAH (https://www.sgb.gov.br/sace/index_manchas_inundacao.php).

4 CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou a modelagem bidimensional do software HEC-RAS para prever as manchas de inundação no município de Nova Era - MG. A grande melhoria em relação ao trabalho desenvolvido em 2021 foi a utilização de um modelo digital de superfície obtido por VANT (realizado pelas equipes do SGB-CPRM), com uma resolução de 30 cm x 30 cm, suficiente para caracterizar com grande precisão as áreas de inundação às margens do rio.

Destaca-se que o VANT não é capaz de mapear a calha do rio, ou seja, a topografia que está sob a superfície da água, sendo então utilizadas seções topobatimétricas levantadas pelas equipes do SGB-CPRM ao longo do curso d'água para caracterização do fundo, após as correções necessárias para indicar singularidades, como corredeiras e afloramentos rochosos.

A referência para calibração do modelo foi o levantamento do evento de 10/01/2022, realizado pela equipe de campo do SGB- CPRM, tendo sido levantados 114 pontos desde o trecho a montante da área urbana de Nova Era-MG até o trecho a jusante, em ambas margens.

A calibração foi realizada após a classificação supervisionada de uso e ocupação do solo, por meio de ferramentas de geoprocessamento semi-automáticas. Este passo é fundamental, uma vez que associa coeficientes de rugosidade aos mais diversos tipos de cobertura presentes no trecho modelado. O procedimento foi desenvolvido variando-se estes coeficientes até tenha sido obtido o resultado desejado, ou seja, os níveis de água simulados sejam semelhantes àqueles obtidos em campo. Durante a calibração buscou-se, na vazão utilizada para calibração, um equilíbrio entre desvios positivos e negativos ao longo de toda a mancha de inundação, não sendo, portanto, a cota na região das réguas decisivo para a calibração, tampouco que as manchas geradas possuam viés negativo ou positivo em toda sua extensão.

As simulações cobriram desde a cota de inundação associada ao município, 470 cm, até a cota 1100 cm, como forma de suprir essa localidade com mais uma ferramenta para manejo das inundações. Ressalta-se que estas cotas sempre são referenciadas a

estação Nova Era Telemétrica (56661000), referência de Sistema de Alerta para o município.

Foi realizado, também, um estudo estatístico de cheias, desde o início da operação da estação fluviométrica Nova Era IV (56659998), em 1938, até os dias atuais, sendo que as vazões associadas a períodos de retorno específicos também foram simuladas no modelo.

Como qualquer trabalho de simulação computacional e estatística, é possível perceber eventuais imprecisões inerentes aos métodos.

No entanto, dados os resultados da calibração e a boa precisão do modelo digital de superfície, considera-se este modelo adequado para a previsão da espacialização de inundações no município de Nova Era-MG.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb - Dados da estação fluviométrica Nova Era IV (56659998). Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>.

Acesso em: 15 de junho de 2023

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Seções Transversais Topobatimétricas na Bacia do Rio Doce. Catálogo de Metadados ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/3f40dc0f-fbb3-4b90-a640-9ce978f0fa3b>. Acesso em 11 de maio de 2021.

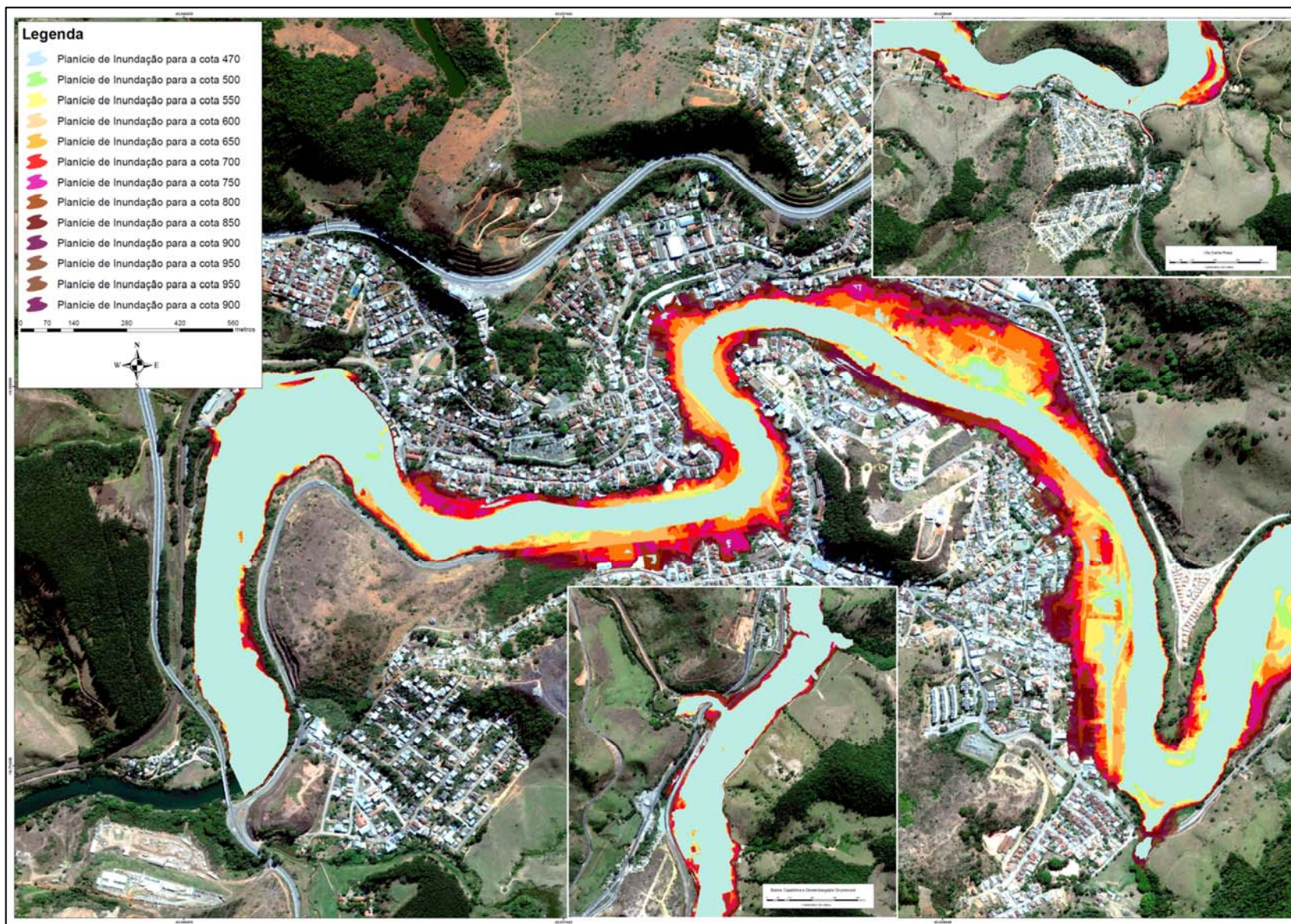
CASTILHO, A. S., Silva, M.L., Modelagem, Controle e Risco de Enchentes – Cidade de Nova Era/MG. UFMG, 2019 (não publicado).

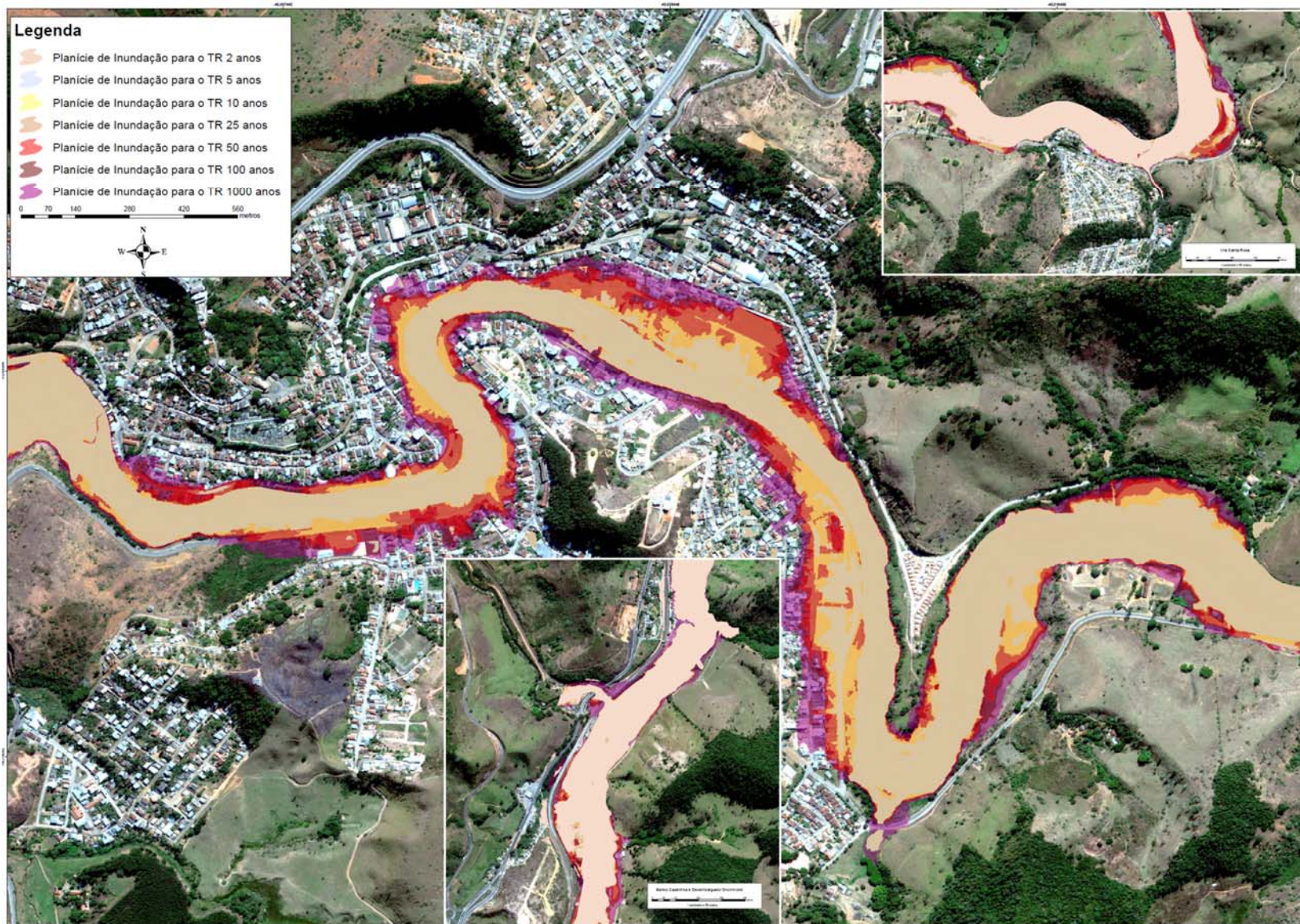
CHOW, V.T., Open-channel hydraulics: New York, McGraw-Hill, 680 p, 1988.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A., Hidrologia estatística. CPRM, 2007.

APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE – ARQUIVOS DIGITAIS DA MANCHA DE INUNDAÇÃO (Formato digital)





ANEXO I – Ficha Descritivas das Estações Nova Era IV e Telemétrica

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:

POTAMOGRAFIA: Rio Piracicaba - nasce entre as serras da Bocaina e Antonio Pereira. É afluente pela margem esquerda, do rio Doce. Principais afluentes: rio Sta Bárbara e do Peixe, ambos pela margem direita. Bacia hidrográfica total, cerca de 6.300 km².

POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE:

MONTANTE: RIO PIRACICABA JUSANTE: NOVA ERA TELEMÉTRICA

CARACTERÍSTICA DO TRECHO:

Regime:

- Perene Intermitente
 Efêmero

Conformação:

- Retilíneo Anastomosado
 Curvo Meandrante

Leito

- Regular Irregular

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS:
NATUREZA:

ME: Arenosa com vegetação rasteira
MD: Arenosa com vegetação de médio porte

INCLINAÇÃO:

ME: Média
MD: Alta

NATUREZA DO LEITO: Arenoso

CONTROLE: Canal

LOCALIZAÇÃO:
DISTÂNCIA (m):
COTA DE TRANSBORDAMENTO (cm): 7,00 m

 MARGEM DIREITA

 MARGEM ESQUERDA

OBSERVADOR:
NOME: Maria das Graças Bueno Silva

PROFISSÃO:
GRAU DE INSTRUÇÃO: primária

ENDEREÇO: Rua Passagem de Nova Era, s/n^o (ver observações).

FONE: (31) 99929-0976

BAIRRO:
CEP:
CIDADE: Nova Era

ESTADO: MG

DISTÂNCIA DA RESIDÊNCIA ATÉ A ESTAÇÃO (m): 300 m

MEIO DE COMUNICAÇÃO MAIS PRÓXIMO DA CASA DO OBSERVADOR: Telefone

DISTÂNCIA DA CASA DO OBSERVADOR (m):
OBSERVAÇÃO: Telefone público ao lado da barraca. (31) 9603-0536/ 8372-9273

NA AUSÊNCIA DO OBSERVADOR PROCURAR POR
NOME: Raquel Bueno da Silva

ENDEREÇO: Rua Passagem de Nova Era, s/n^o
FONE: (31)99929-0976

BAIRRO:
CEP:
CIDADE: Nova Era

ESTADO: MG

OBSERVAÇÕES:

Materializada a seção na base do portão da empresa de ônibus Lopes, em frente ao portão trilha da direita.

Estação: 56659998

REVISADA EM: 03/10/2022

ESTAÇÃO: NOVA ERA TELEMÉTRICA		TIPO: FRT	CÓDIGO: 56661000		
REGIÃO HIDROGRÁFICA: Atlântico Leste		BACIA: Atlântico, Trecho Leste			
RIO: 56180000 - RIO PIRACICABA		UF: MG	MUNICÍPIO: Nova Era		
ENTIDADE COORDENADORA: ANA		ENTIDADE OPERADORA: CPRM/BH			
ÁREA DE DRENAGEM (Km²): 3.203		DRENAGEM GERAL: Rio Doce			
LAT.: -19°46'00.00" LONG. -43°01'34.00"		INST.: GPS GARMIN EXTREX LEGEND	DATUM: WGS-84		
ALT.(m): 550 m		INST.: Carta topográfica	DATUM:		
FOLHA: Itabira		ESCALA: 1:100.000	ANO: 1977		
ESTAÇÃO	TIPO	DATA DA INSTALAÇÃO	DATA DA EXTINÇÃO	ENTIDADE	
FLUVIOMÉTRICA	F	17/07/02		CPRM (ANA)	
FLUVIOGRÁFICA	FR				
SEDIMENTOMÉTRICA	S				
QUALIDADE DAS ÁGUAS	Q				
ESTAÇÃO TELEMÉTRICA: <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não DATA DA INSTALAÇÃO:					
LOCALIZAÇÃO: No perímetro urbano, na rua Copacabana, em frente ao nº 28 na margem direita.					
ACESSIBILIDADE: Partindo de Belo Horizonte (140 km) pela rodovia BR-262/381 até o trevo de Nova Era. Percorrer mais 1500 m até a estação.					
DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO (RÉGUAS, LANCES, RRNN, SM, SR, PI, PF, etc.):					
MARGEM: direita					
RÉGUAS: 7 lances com 7 réguas fixados em estacas suporte de madeira.					
1º LANCE 000/100 cm					
2º LANCE 100/200 cm					
3º LANCE 200/300 cm					
4º LANCE 300/400 cm					
5º LANCE 400/500 cm					
6º LANCE 500/600 cm					
7º LANCE 600/700 cm					
RRNN: RNP2= 6745 mm calota de alumínio chumbada em bloco de concreto.					
RN3= 6609 mm parafuso de ferro chumbado em bloco de concreto.					
SEÇÃO MEDIDORA Não tem.					
PROCESSOS DE MEDIÇÃO DE DESCARGA:					
QUALIDADE DE ÁGUA: Quatro parâmetros: temperatura, pH, OD e condutividade elétrica.					
EQUIPAMENTOS					
ESPÉCIE	Nº PATRIMÔNIO	Nº SÉRIE	PROPRIETÁRIO	EM OPERAÇÃO	DATA INSTALAÇÃO
PCD-HOBECO	8566.2744		CPRM	sim	13/09/2013

Estação: 56661000

REVISADA EM: 03/10/2022

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:

POTAMOGRAFIA: Rio Piracicaba -nasce entre as serras da Bocaina e Antonio Pereira. É afluente pela margem esquerda, do rio Doce. Principais afluentes: rio Sta Bárbara e do Peixe, ambos pela margem direita. Bacia hidrográfica total, cerca de 6.300 km².

POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE:

MONTANTE: NOVA ERA IV

JUSANTE: MÁRIO DE CARVALHO

CARACTERÍSTICA DO TRECHO:

Regime:

- Perene Intermitente
 Efêmero

Conformação:

- Retilíneo Anastomosado
 Curvo Meandrante

Leito

- Regular Irregular

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS:
NATUREZA:

ME: Arenosa com vegetação de médio porte

MD: Arenosa com vegetação rasteira

INCLINAÇÃO:

ME: Baixa

MD: Alta

NATUREZA DO LEITO: Arenoso

CONTROLE: Canal

LOCALIZAÇÃO:
DISTÂNCIA (m):
COTA DE TRANSBORDAMENTO (cm): 450 cm

 MARGEM DIREITA

 MARGEM ESQUERDA

OBSERVADOR:
NOME: Maria das Graças Bueno Silva

PROFISSÃO: comerciante

GRAU DE INSTRUÇÃO: primária

ENDEREÇO: Rua Passagem de Nova Era, s/nº (ver observações).

FONE: (31) 99929-0976

BAIRRO:
CEP:
CIDADE: Nova Era

ESTADO: MG

DISTÂNCIA DA RESIDÊNCIA ATÉ A ESTAÇÃO (m): 1000 m

MEIO DE COMUNICAÇÃO MAIS PRÓXIMO DA CASA DO OBSERVADOR: Telefone

DISTÂNCIA DA CASA DO OBSERVADOR (m):
OBSERVAÇÃO: Telefone público ao lado da barraca.

NA AUSÊNCIA DO OBSERVADOR PROCURAR POR
NOME: Raquel Bueno da Silva

ENDEREÇO: Rua Passagem de Nova Era, s/nº (ver observações).

FONE:
BAIRRO:
CEP:
CIDADE: Nova Era

ESTADO: MG

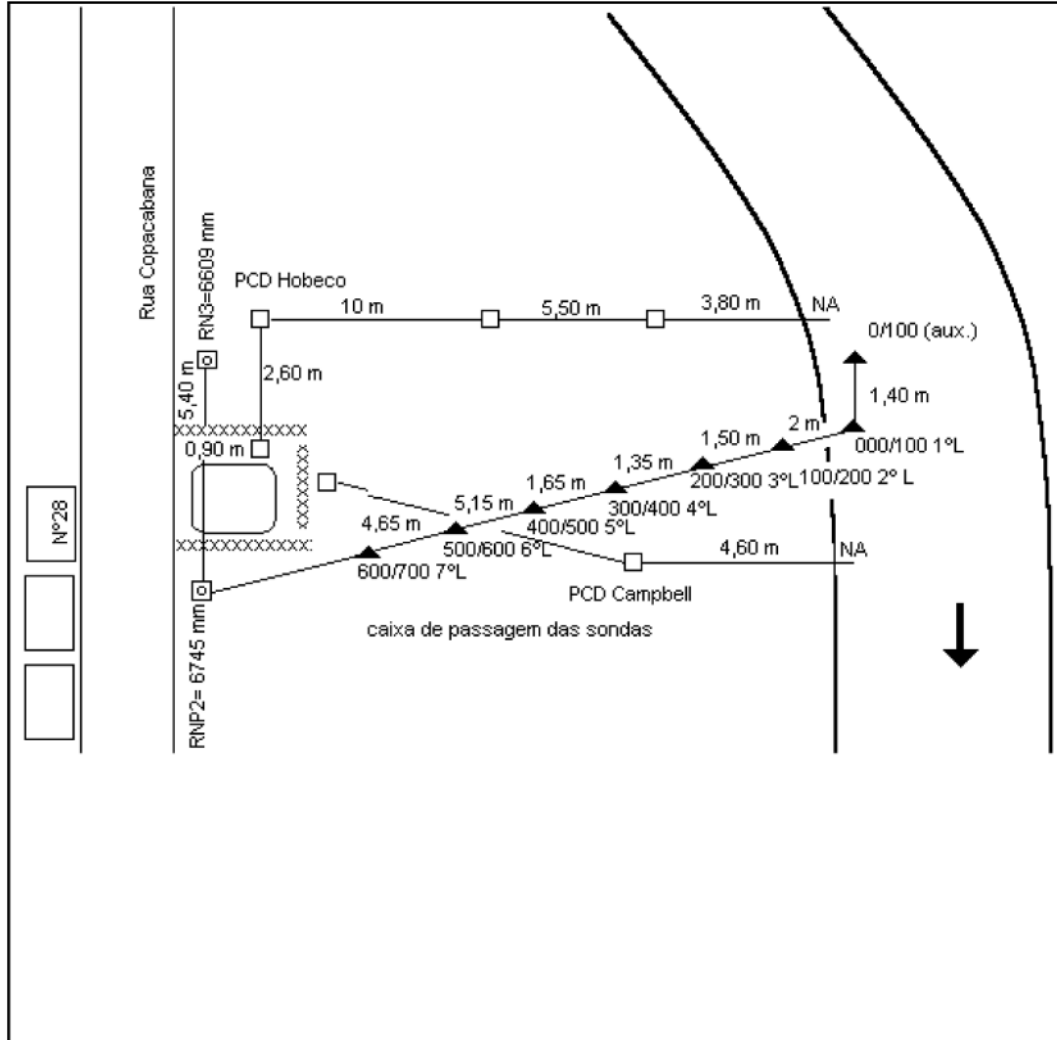
OBSERVAÇÕES:

As RNs dos aparelhos são levantados pela equipe da telemetria. PCD-HOBECO: Plataforma automática de coleta de dados, composta por barômetro, modem GPRS, sensor de pressão, pluviômetro, antena e painel solar.

Estação: 56661000

REVISADA EM: 03/10/2022

CROQUI:



Estação: 56661000

REVISADA EM: 03/10/2022

ANEXO II – Modelo HEC-RAS

(Formato digital)

ANEXO III – Registro Fotográfico

(Formato digital)

ANEXO IV – Ortoimagem

(Formato digital)

ANEXO V – Modelo Digital de Superfície

(Formato digital)