



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**MATHEUS LIMA CARVALHO RABELO**

**APLICAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA NA CONSTRUÇÃO DE MODELO  
HIDRÁULICO PARA O MUNICÍPIO DE BARROLÂNDIA-TO**

PALMAS (TO)

2019

**MATHEUS LIMA CARVALHO RABELO**

**APLICAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA NA CONSTRUÇÃO DE MODELO  
HIDRÁULICO PARA O MUNICÍPIO DE BARROLÂNDIA-TO**

Monografia apresentada à UFT - Universidade Federal do Tocantins – Campus de Palmas para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. MSc. Roberta Mara de Oliveira Vergara.

PALMAS (TO)

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- R114a Rabelo, Matheus Lima Carvalho.  
Aplicação da aerofotogrametria na construção de modelo hidráulico para o município de Barrolândia-TO. / Matheus Lima Carvalho Rabelo. – Palmas, TO, 2019.  
117 f.  
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019.  
Orientadora : Roberta Mara De Oliveira Vergara  
1. Aerofotogrametria. 2. Modelagem hidráulica. 3. Sistema de abastecimento de água. 4. Perdas de água. I. Título

**CDD 624**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

MATHEUS LIMA CARVALHO RABELO

APLICAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA NA CONSTRUÇÃO DE MODELO  
HIDRÁULICO PARA O MUNICÍPIO DE BARROLÂNDIA-TO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –  
Universidade Federal do Tocantins - Campus  
Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e  
aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela  
Banca Examinadora.

Data de Aprovação: 03/07/2019

Banca examinadora:

*Roberta Mara de Oliveira Vergara*

Prof.<sup>a</sup> Msc. Roberta Mara de Oliveira Vergara  
Orientadora – UFT

*Tatiana Ferreira Wanderley*

Prof.<sup>a</sup> Msc. Tatiana Ferreira Wanderley  
Professora convidada – UFT

*Samuel Ferreira da Fonseca*

Prof. Msc. Samuel Ferreira da Fonseca  
Professor convidado – UFT

“Dedico este trabalho à Deus por ser essencial em minha vida e à minha família, por me amar e cuidar incondicionalmente. Meu amor e gratidão são eternos”.

## AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaria de agradecer a Ele por estar sempre presente em minha vida. Por me permitir pertencer à família a qual pertencço. Por ter me presenteado com pessoas extraordinárias que me provam, dia após dia, que o trabalho, a humildade e a retidão, sempre serão recompensados.

Agradeço a minha mãe, Albanusia, pelos maiores exemplos de dedicação, resiliência e fé. À senhora, que sempre acreditou no meu potencial, até mais que eu mesmo, que é minha maior torcida e que comemora cada vitória, por menor que seja. À senhora, que sempre me defendeu com unhas e dentes, que me ensinou a seguir adiante, com coragem e certeza que a teria ao meu lado. Meu amor e minha gratidão transcendem esta existência.

Agradeço ao meu pai, Roberto, por ser força e por me estimular a ser o mesmo, pelo carinho e por se mostar sempre orgulhoso do filho que tem. Muito obrigado.

Aos meus irmãos, Paulo Wictor e Bárbara. Vocês serão eternamente as meus maiores amigos. Obrigado por me apoiarem nesta caminhada.

Agradeço à Nara por todo o cuidado que teve e tem comigo, por me ajudar não só como uma namorada, mas como minha melhor amiga. Agradeço pela paciência, por estar comigo nas horas mais difíceis e sempre me incentivando, mostrando o que tenho de melhor. Obrigado por tudo. Toda a nossa luta será recompensada.

À minha orientadora, professora Roberta, gostaria de agradecer por exercer a profissão com tanta dedicação e empatia. Obrigado pelo apoio, paciência e ensinamentos.

Agradeço aos meus amigos que estão longe, por entenderem as minhas ausências. Aos que estão perto, pelos momentos especiais da graduação, dos quais sentirei saudades.

Agradeço a todos que torceram e contribuíram direta ou indiretamente para que eu chegasse até aqui.

À Universidade Federal do Tocantins pelo ensino de qualidade.

“Devo ter serenidade para aceitar as coisas que não posso mudar, coragem para mudar as que posso e sabedoria para distinguir entre elas”.

Reinold Nieblur

## RESUMO

No Brasil, existem regiões que são consideradas áreas com condições críticas no que se refere ao fornecimento de água potável. Em meio a diferentes causas que podem provocar este fato, tem-se o alto índice de perdas nas redes de distribuição de água. Desta maneira, o presente trabalho tem por objetivo, criar um modelo hidráulico no software WaterGEMS para o município de Barrolândia-TO, de modo que este seja uma ferramenta de apoio para análise do sistema e tomada de decisões no que tange às medidas operacionais referentes às perdas no sistema. Para tal, foi necessário criar uma base digital que serviu de *input* para criação do modelo, juntamente com os dados disponibilizados pela concessionária local. A base digital foi obtida por meio de aerolevanteamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e auxílio de SIG, o que facilita a visualização dos produtos. A metodologia adotada foi a recomendada pelos manuais dos softwares e foram seguidas recomendações de georreferenciamento contidas em literatura. A análise dos resultados demonstrou grande aplicabilidade da aerofotogrametria para construção de bases digitais e, desta maneira, o modelo criado se mostrou como uma ferramenta eficaz na análise de pressões, simulações no sistema e permitirá às empresas de saneamento, uma melhoria na gestão operacional, que garante a sustentabilidade da empresa, a economia dos recursos humanos, econômicos, e principalmente, hídricos.

**Palavras-Chave:** Sistema de abastecimento de água. Aerofotogrametria. Modelagem hidráulica. Perdas de água.



## ABSTRACT

In Brazil, there are regions that are considered areas with critical conditions regarding the supply of drinking water. In the middle of different causes that can provoke this fact, one has the high loss rate in the water distribution networks. In this way, the present work aims to create a hydraulic model in the WaterGEMS software for the municipality of Barrolândia-TO, so that it is a support tool for analysis of the system and decision making regarding the operational measures regarding the losses in the system. To do this, it was necessary to create a digital base that served as input for the creation of the model, together with the data provided by the local concessionaire. The digital base that was obtained by means of aerial surveying with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and aid of GIS, which facilitates the visualization of the products. The methodology adopted was that recommended by the software manuals and followed recommendations of georeferencing contained in the literature. The analysis of the results showed a great applicability of aerophotogrammetry for the construction of digital bases and, in this way, the model created proved to be an effective tool in the analysis of pressures, simulations in the system and will allow to the sanitation companies, an improvement in the operational management, that guarantees the sustainability of the company, the economy of human resources, economic, and especially, water.

**Key words:** Water supply system. Aerophotogrammetry. Hydraulic modeling. Loss of water.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Setor de abastecimento típico. ....	20
Figura 2 - Fluxograma de processos. ....	32
Figura 3 - Área urbana do município de Barrolândia - TO. ....	33
Figura 4 - Descrição do sistema de abastecimento. ....	34
Figura 5 - VANT DJI Mavic Pro. ....	35
Figura 6 - A) Captura de tela do DroneDeploy com determinação da altitude de voo; B) Captura de tela do aplicativo na aba de ajustes avançados. ....	36
Figura 7 - Disposição dos Check Points e Ground Control Points. ....	37
Figura 8 - A) Nível bolha centralizado; B) GPS Hiper Plus sobre marcação; C) Equipamento coletando dados. ....	38
Figura 9 - Processamento Ponto Preciso (PPP). ....	39
Figura 10 - Tela do software Metashape: Dense Cloud. ....	40
Figura 11 - Software ArcGis com a ferramenta de criar feições. ....	41
Figura 12 - Software ArcGis com shapefiles disponibilizados. ....	42
Figura 13 - Ortomosaico gerado. ....	46
Figura 14 - Vias do município de Barrolândia. ....	47
Figura 15 - Quadras e lotes criados. ....	48
Figura 16 - MDT da área urbana com curvas de nível. ....	49
Figura 17 – Representação do modelo com indicação de fluxo. ....	50
Figura 18 - Propriedades do nó J-353. ....	51
Figura 19 - Propriedades de um hidrômetro. ....	51
Figura 20 – Captura de tela da tabela de redes no modelo. ....	52
Figura 21 - Propriedades do nó J-541. ....	53
Figura 22 - Representação de pressão nos nós do modelo. ....	53
Figura 23 – Sobreposição das pressões encontradas na rede com o MDT da área urbana. ....	54
Figura 24 – Interface inicial do software Agisoft Metashape. ....	60
Figura 25 – Conversão do sistema de coordenadas. ....	61
Figura 26 – Alinhamento de fotos. ....	62
Figura 27 – Tie points. ....	63
Figura 28 – Importação dos pontos de controle e checagem. ....	64
Figura 29 – Locação dos pontos. ....	65
Figura 30 – Visualização do erro inicial. ....	66

Figura 31 – Apontamento dos marcadores. ....	67
Figura 32 – Otimização do alinhamento. ....	68
Figura 33 – Processamento para criação da dense cloud. ....	69
Figura 34 – Dense cloud. ....	70
Figura 35 – Ferramenta de classificação dos pontos. ....	71
Figura 36 – Diferenciação dos pontos do terreno (marrom) dos demais (brancos). ....	72
Figura 37 – Elaboração da malha. ....	73
Figura 38 – Suavização da superfície. ....	74
Figura 39 – Janela de criação do Modelo Digital de Terreno (MDT). ....	75
Figura 40 – MDT gerado. ....	76
Figura 41 - MDT gerado com curvas de nível. ....	77
Figura 42 – Ortomosaico gerado. ....	78
Figura 43 – Visualização do produto gerado. ....	79
Figura 44 – Ferramenta Model Builder. ....	80
Figura 45 – Tela de importação dos shapefiles. ....	81
Figura 46 – Opções de conectividade do modelo. ....	81
Figura 47 – Opções adicionais do programa. ....	82
Figura 48 – Relacionamento de atributos (hidrômetro). ....	82
Figura 49 - Relacionamento de atributos (rede). ....	83
Figura 50 – Relacionamento de atributos (registros). ....	83
Figura 51 – Relacionamento de atributos (ventosas e reservatórios). ....	84
Figura 52 – Confirmação de criação do modelo. ....	84
Figura 53 – Tela de progresso de importação de feições. ....	85
Figura 54 – Ferramenta “Split”. ....	85
Figura 55 – Ferramenta “TRex Wizard”. ....	86
Figura 56 – Janela de importação das curvas de nível. ....	86
Figura 57 – Modelo criado. ....	87
Figura 58 – Modelo com simbologia de pressão nos nós. ....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Origens e magnitudes das perdas. ....	23
Tabela 2 - Causas Prováveis de Falhas e Rupturas em Tubulações. ....	24
Tabela 3 - Precisão esperada para um levantamento estático (metros). ....	38
Tabela 4 - Ground Control Points. ....	43
Tabela 5 - PEC segundo as Normas Técnicas da Cartografia Nacional.....	44
Tabela 6 - Check Points.....	44

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas.
BNH	Banco Nacional de Habitação.
Cesb's	Companhias Estaduais de Saneamento Básico.
CP	Check Point.
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde.
GCP	Ground Control Point.
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System.
GSD	Ground Sample Distance.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IPL	Índice de Perdas por Ligação.
IWA	International Water Association.
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento.
MDT	Modelo Digital de Terreno.
NBR	Norma Brasileira.
OMS	Organização Mundial de Saúde.
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica.
PECOP	Plano Estadual de Controle de Perdas.
PLANASA	Plano Nacional de Água e Saneamento.
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento.
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos.
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso.
RDA	Rede de Abastecimento de Água.
SAA	Sistema de Abastecimento de Água.
SfM	Structure from Motion.
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério.
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle.
USEPA	United States Environmental Protection Agency.
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado.
VRP	Válvula Redutora de Pressão.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo.....</b>	<b>16</b>
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância do saneamento básico .....</b>	<b>17</b>
2.1.1	Histórico do saneamento .....	18
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de abastecimento de água (SAA) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Perdas existentes nos sistemas de abastecimento de água.....</b>	<b>21</b>
2.3.1	Classificação dos vazamentos .....	21
2.3.2	Origem das perdas.....	23
<b>2.4</b>	<b>Setorização .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Modelagem Hidráulica .....</b>	<b>27</b>
2.5.1	Softwares de Modelagem Hidráulica.....	29
<b>2.6</b>	<b>Aerofotogrametria .....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Levantamento de dados em campo .....</b>	<b>35</b>
3.2.1	Aeronave .....	35
3.2.2	Configurações pré-voo.....	35
3.2.3	Implantação dos pontos de apoio e checagem. ....	36
3.2.4	Processamento das imagens adquiridas pelo VANT .....	39
3.2.5	Validação dos produtos cartográficos gerados por meio da aerofotogrametria.....	40
<b>3.3</b>	<b>Cadastro da Rede de Abastecimento de Água (RDA) .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>Criação da base cartográfica .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5</b>	<b>Construção do modelo hidráulico.....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Produtos da aerofotogrametria.....</b>	<b>43</b>
4.1.1	Georreferenciamento da área urbana .....	43
4.1.2	Base cadastral da área urbana .....	45
4.1.3	Modelo Digital de Terreno.....	49
<b>4.2</b>	<b>Modelo hidráulico .....</b>	<b>50</b>
4.2.1	Avaliação das pressões na rede de distribuição de água.....	52

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – FLUXO DE TRABALHO DO SOFTWARE METASHAPE.....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE B – ROTEIRO DE CRIAÇÃO DE MODELO HIDRÁULICO.....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO I.....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO II.....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Algumas regiões do Brasil são consideradas áreas com condições críticas no que se refere ao fornecimento de água potável. Dentre as causas que promovem este fato, pode-se destacar o mau uso dos recursos hídricos, destruição de nascentes, poluição de mananciais e o aumento da demanda, por exemplo.

A intensificação do processo de urbanização vem gerando uma crescente demanda por recursos hídricos causada pela diversificação das atividades econômicas e pelas pressões de consumo da sociedade. Além disso, a falta de saneamento em certas áreas da cidade tem dado lugar a um quadro de degradação do meio ambiente urbano, em especial, dos recursos hídricos, gerando riscos de escassez de água. Tal realidade tem acentuado, assim, o conflito existente entre o meio natural e o desenvolvimento urbano. (LEITÃO, 2009, 248p).

Deixando em segundo plano o mérito de produção e poluição da água, observa-se a grande importância e influência que o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) tem sobre a gestão do recurso. Analisando o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016), nota-se que um dos principais problemas enfrentados pelos prestadores de serviços no Brasil se remete à questão das elevadas perdas. De acordo com o SNIS (2016), na amostra de sistemas pesquisados, perde-se 40,31% do volume da água distribuído em relação à água captada, sendo então fundamental estabelecer estratégias de controle das perdas de água, principalmente em regiões em que existem escassez e conflitos pelo seu uso.

Em sistemas de abastecimento público, do ponto de vista operacional, as perdas de água são consideradas correspondentes aos volumes não contabilizados. Tais volumes englobam tanto as perdas físicas (reais), que representam a parcela não consumida, como as perdas não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada (SILVA *et al.*, 1998). O nível de perdas existentes nos sistemas de abastecimento de água em núcleos urbanos é inaceitável defronte ao investimento empregado no tratamento da água para fins potáveis, bem como a limitação dos mananciais.

Dados da década de 1990, os modelos computacionais hidráulicos surgiram como ferramenta para representar e analisar um SAA e seu respectivo funcionamento. Eles são aplicados a uma grande variedade de problemas, incluindo dimensionamento de tubulações, bombas e reservatórios, avaliação da confiabilidade, otimização de consumo energético e treinamento de operadores (WALSKI, GESSLER, SJOSTROM, 1990).

Salvino (2016), afirma que a modelagem hidráulica consiste em um modelo numérico, com base nos conceitos físicos e matemáticos, desenvolvido para reproduzir, da melhor forma



possível, o comportamento do fluxo da água no interior das tubulações e dos acessórios da rede de distribuição em estudo. Para realização da modelagem é necessário o levantamento de dados cadastrais e a topografia da área em estudo. Para tanto, o geoprocessamento dispõe de tecnologias capazes de agilizar com precisão essa etapa.

No que se refere a construção de bases cadastrais para o saneamento, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e câmeras de pequeno formato em atividades civis mostra-se como uma ferramenta de aquisição de imagens de alta resolução espacial. Dentre as vantagens, tem-se o baixo custo de aeronaves de pequeno porte, bem como a facilidade de manuseio oferecida pelos softwares de processamento das imagens obtidas através do aerolevamento.

A aerofotogrametria empregando o VANT é adequada para o projeto de saneamento, nas etapas de confecção de bases cadastrais de SAA, como também para atualização de informações do sistema, uma vez que o método permite reconhecimento da superfície terrestre, com elevada resolução espacial e informações frequentes.

Partindo do pressuposto que VANTs são capazes de gerar modelos digitais com Ground Sample Distance (GSD) menores que 10 centímetros e precisão centimétrica, tem-se a garantia de uma base cartográfica confiável e de alta resolução.

No que diz respeito a topografia, atualmente, tais informações são adquiridas a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), cuja resolução espacial chega à apenas 30 metros. Tendo em vista que a modelagem hidráulica demanda grande acurácia para projeto, obtida através de dados confiáveis para representação do real comportamento da rede de abastecimento de água, a utilização do MDT da SRTM se torna inviável. Neste contexto, ao utilizar o MDT gerado a partir do levantamento com aeronave não tripulada, estima-se que os resultados obtidos através da modelagem hidráulica, sejam bem mais precisos, possibilitando o melhor uso do recurso em questão.

Neste trabalho, foi utilizado o software de modelagem hidráulica da Bentley Systems, o WaterGEMS, onde foi possível criar o modelo hidráulico de Barrolândia-TO com curvas de nível resultantes da aerofotogrametria.

## **1.1 Objetivo**

### 1.1.1 Objetivo geral

Como objetivo geral, busca-se aplicar a aerofotogrametria na construção de base digital e de modelo hidráulico para área urbana do município de Barrolândia-TO.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Criar base cartográfica por meio de sistema de aerolevanteamento (VANT);
- Realizar levantamento geodésico de precisão para criação do MDT;
- Construir Modelo Hidráulico no software WaterGEMS; e
- Avaliar as pressões na rede de distribuição de água do município supracitado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na presente seção será apresentada a bibliografia que fundamenta o desenvolvimento da pesquisa. Serão discutidos conceitos técnicos relativos aos sistemas de abastecimento de água, perdas de água inerentes à distribuição e aerofotogrametria.

### 2.1 Importância do saneamento básico

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental (FUNASA, 1999).

No que concerne à sua abrangência, o saneamento básico contempla os serviços de abastecimento de água, recolhimento e tratamento de esgotamento sanitário, limpeza urbana com o manejo dos resíduos sólidos e a drenagem das águas pluviais urbanas (CARDOSO; MELO; DALFAVO, 2015).

No âmbito internacional, Kemper e Sadoff (2003) destacam que o acesso à água potável e ao saneamento básico são fundamentais para a saúde pública e necessário para a manutenção da vida humana. A ampliação do abastecimento de água e as melhores condições de saneamento, bem como a eficiência no gerenciamento dos recursos hídricos são capazes de contribuir para o crescimento econômico dos países e gerarem reflexos positivos sobre a redução da pobreza (DE SOUZA NUNES; FERREIRA; DE SOUSA, 2018).

No Brasil, o déficit do setor de saneamento básico é elevado, em especial, o esgotamento sanitário, sendo que as áreas periféricas dos centros urbanos e os meios rurais apresentam maior carência (GALVÃO JÚNIOR e PAGANINI, 2009). Segundo Venson *et al.* (2015), um dos objetivos das políticas públicas é reduzir a desigualdade no acesso aos serviços de saneamento básico no país. Para superar esse desafio, esses autores ressaltam que é imprescindível expandir o acesso da população que se localiza, sobretudo, em municípios de baixo desenvolvimento humano e pequeno porte, ou em periferias e áreas de urbanização informal e precária.

Anthonj *et al.* (2016) e Ortiz-Correa, Resende Filho e Dinar (2016) afirmam em seus estudos que a desigualdade no acesso à água e ao saneamento ocasiona efeitos negativos sobre a saúde e a educação, uma vez que os integrantes de uma família, principalmente as crianças, apresentam maior tendência ao contágio de doenças associadas à água. Assim, a ausência de

serviços adequados de água e saneamento e a falta de higienização adequada aumentam a probabilidade de transmissão de doenças.

O progresso do saneamento básico também acarreta benefícios sociais e econômicos que abrangem menores custos do sistema de saúde e maior assiduidade no trabalho, dada o tempo não gasto com problemas relacionados à ausência de saneamento (HUTTON e HALLER, 2004).

Embora comprovadamente os serviços de saneamento básico sejam essenciais a qualidade de vida humana e possuam grande relevância nas esferas sociais e econômicas, ao menos 40% da população mundial sofre com a escassez de água e cerca de 2,4 bilhões de pessoas não têm acesso a um saneamento básico adequado (WHO e UNICEF, 2017).

Os problemas com o saneamento no Brasil se intensificam, pois embora seja um país com uma disponibilidade hídrica relevante, os mananciais não são distribuídos de forma homogênea no território. Deste modo, existem regiões onde há uma grande oferta de água e pequena população, enquanto em outras existe uma grande população e pequena oferta de água (BRASIL, 2010).

### 2.1.1 Histórico do saneamento

Segundo Cardoso, Melo e Delfavo (2015), o processo de crescimento do setor de saneamento básico no Brasil se deu de forma gradual, através da implementação de políticas públicas a partir de 1971, com a criação do Plano Nacional de Água e Saneamento – PLANASA. Tais autores afirmam que o PLANASA foi criado com a finalidade de maximizar a oferta de água e esgotamento sanitário em todo o território nacional. Para isso, o plano consistia em uma gestão pública destinada aos estados com cobrança de tarifas visando assim o auto sustento das empresas ligadas ao serviço.

Moreira (1996) destaca que o PLANASA foi imprescindível para o surgimento das companhias estaduais de saneamento básico (Cesb's), que foram responsáveis pela execução dos objetivos do programa. A criação das Cesb's contribuiu para que os municípios brasileiros, que não possuíam acesso próprio ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, passassem a ser atendidos pelos serviços das companhias estaduais criadas.

Com a instituição do Plano Nacional de Saneamento, em 1971, o aumento da oferta de serviços públicos de abastecimento de água no Brasil ganhou impulso, o que permitiu avanços consideráveis ao setor de saneamento do país (BARRETO e PEREIRA, 2017).

Conforme afirma Miranda (2002), o cenário no período do PLANASA era de grandes obras de abastecimento de água. Nesse sentido, a expansão absoluta da oferta de água aconteceu com ênfase nos sistemas de produção de água (captação, adução e tratamento). As unidades de distribuição (redes de água) e as ações de desenvolvimento operacional tiveram investimentos menores, bem como menor evolução tecnológica.

Nessa época, a água doce era utilizada abundantemente e entendida como bem inesgotável. Não havia a preocupação de evitar desperdícios e de promover o uso racional. O bem-estar da população estava diretamente relacionado ao aumento do consumo, inclusive o da água (BARRETO e PEREIRA, 2017).

Devido à crise econômica da década de 80, os investimentos em obras de saneamento diminuíram, apesar da necessidade de aumentar a oferta do serviço de abastecimento de água, e assim aconteceu por meio de soluções pragmáticas a expansão indiscriminada de redes de distribuição (MIRANDA, 2002).

Barreto e Pereira (2017) relatam que o baixo investimento no desenvolvimento operacional (e na manutenção), as expansões desordenadas das redes de distribuição e a cultura generalizada do desperdício, aliada às pressões urbanas oriundas do crescimento populacional descontrolado, resultaram, com o passar dos anos, na depredação dos sistemas de abastecimento de água, configurando cenário ideal para o aumento das perdas nesses sistemas

Em 1997 foi aprovada a lei federal de número 9.433/97, a nomeada Lei das Águas, de fundamental importância para o melhor uso dos recursos hídricos no Brasil, já que esta instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), bem como a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH).

Nesta perspectiva, Cardoso, Melo e Delfavo (2015) ressaltam que esta lei surgiu em um período de escassez de água, e que seus princípios estão no “bom uso” dos recursos hídricos e na gestão destes, para garantir sua disponibilidade e qualidade para as gerações presentes e futuras. No entanto, apenas em 2000, com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), os estados e municípios passaram a cumprir as diretrizes da PNRH.

Posteriormente, em 2007, foi promulgada a Lei 11.445, também chamada de Lei Nacional do Saneamento Básico. Essa Lei exige que haja a elaboração de planos de gestão dos recursos hídricos em níveis federal, estaduais e municipais, o que visa facilitar a universalização do serviço (CARDOSO; MELO; DELFAVO, 2015).

Conforme os termos da nova lei, os planos para o saneamento básico devem englobar a situação do setor, seus impactos para a qualidade de vida da sociedade, apresentar as metas de curto, médio e longo prazo, bem como programas, ações e projetos que serão utilizados para

atingir os objetivos projetados, além das ações que possivelmente possam ser utilizadas em casos de emergência (CUNHA, 2011).

Ainda de acordo com Cunha (2011), no que se refere à competência do prestador de serviços, cabe ao titular deste (que pode ser privado ou público agindo de forma direta ou indireta), a elaboração dos planos, a fiscalização do setor, a garantia de qualidade na prestação do serviço e o controle social sobre o mesmo.

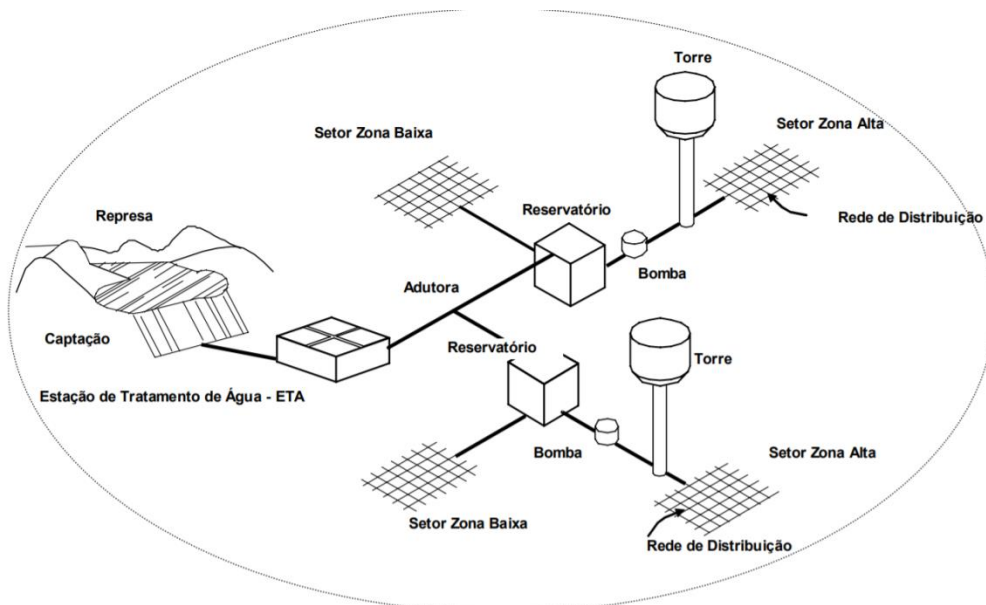
## 2.2 Sistemas de abastecimento de água (SAA)

Os sistemas públicos de abastecimentos de água compreendem todas as estruturas necessárias desde a captação de água em seu estado bruto até o ponto de consumo de água potável (TSUTIYA, 2006).

Se remetendo ao Brasil, no período colonial, o abastecimento de água era realizado por meio de coleta em bicas e a distribuição inexistia. O panorama mudou a partir da chegada da Família Real, iniciando-se algumas obras de infraestrutura.

Na Figura 1, pode-se observar a estrutura de um sistema de abastecimento. Diversas vezes a captação é feita superficialmente em cursos d'água e segue para as próximas etapas, indo para o reservatório e depois sendo distribuído.

Figura 1 - Setor de abastecimento típico.



Fonte: Soares (2004).

À medida em que as cidades foram se expandindo, e com o advento da Revolução Industrial, a qualidade da água foi pauta em diversas reuniões governamentais, devido ao lançamento de esgotos sem tratamento no corpo hídrico. Com essa escassez prevista, conflitos começaram a surgir e também uma maior preocupação com as perdas de água. Não se deve deixar em segundo plano a questão econômica, em que o encarecimento dos sistemas de tratamento, resultam em maiores gastos para produção de água tratada.

Cheung e Reis (2006) enfatizam que infraestruturas deterioradas em sistemas de distribuição de água podem provocar perdas por vazamentos, diminuição da capacidade de transporte de água, falhas nos componentes do sistema, elevação nos custos de manutenção e operação, constantes interrupções do funcionamento dos sistemas e diminuição da sua confiabilidade, com isso perda de água e energia elétrica.

### **2.3 Perdas existentes nos sistemas de abastecimento de água**

As perdas em sistemas públicos de abastecimento de água são consideradas como a totalidade dos volumes de água não contabilizados pela concessionária. Esses englobam tanto as perdas reais (físicas), que representam a parcela não consumida, como as perdas aparentes (não físicas), que correspondem à água consumida e não registrada (BRASIL, 2004).

Alegre *et al.* (2000) definem perdas de água como sendo o volume referente à diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não medidos, faturados ou não faturados, fornecidos aos consumidores cadastrados, à própria prestadora de serviços de saneamento e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo.

As perdas em um sistema de abastecimento de água, de maneira geral, dizem respeito à diferença entre a água que é captada no manancial (o *input* do processo) e a água entregue a população (*output*), quando esta é devidamente autorizada. Estas perdas foram classificadas pela International Water Association (IWA), através de padrões de terminologia internacionais de balanço hídrico, como sendo perdas aparentes (não físicas) e perdas reais (físicas) (LAMBERT, 2002).

#### **2.3.1 Classificação dos vazamentos**

A razão entre as aparentes e perdas reais indica a condição do gerenciamento do sistema. As perdas reais (ou físicas) são calculadas com base no balanço hídrico, ou seja, a soma de

todos os volumes de água fornecidos ao sistema, mas que não foram efetivamente utilizados. Ocorrem quando há vazamentos na rede de distribuição ou vazamentos e extravasamentos nos reservatórios tanto de adução, como de distribuição, ou ainda, vazamentos nas conexões da rede até os usuários (FONTANA, 2012). Dessa forma, vazamentos podem ser classificados em (ZANIBONI, 2009):

- Vazamentos visíveis: são facilmente notados pela população, que notifica a empresa prestadora de serviços de saneamento. Portanto, o reparo é normalmente feito em um curto espaço de tempo.

- Vazamentos não visíveis: não afloram à superfície, infiltram-se na terra, formando fluxos internos no solo. Portanto, leva-se um longo tempo para localizá-los e consertá-los, visto que são necessárias inspeções especiais através de equipamentos de pesquisa para a sua detecção.

Nem todos os vazamentos não visíveis são detectáveis através dos equipamentos de pesquisa atualmente disponíveis. Aquelas vazões muito baixas, que geralmente ocorrem nas juntas e nos estágios iniciais dos processos de corrosão, representam o que se denomina "vazamentos inerentes" do sistema de distribuição de água (ABENDE, 2005).

No Brasil, vários programas de redução de perdas foram implantados pelas prestadoras de serviços de saneamento públicas e privadas, sendo que, alguns eventos de importância são relacionados a seguir:

- Em 1969, com a implantação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) foram investidos recursos financeiros consideráveis, principalmente nos grandes centros urbanos, visando reduzir o déficit de atendimento no setor de saneamento;

- Seminário de macromedição, realizado em 1980, no Rio de Janeiro, com a participação das Companhias Estaduais de Saneamento;

- Em 1981, constituição da Comissão Nacional de Controle de Perdas pelo Banco Nacional de Habitação (BNH), formada por representantes de diversas prestadoras de serviços de saneamento, destinada a assessorar o banco no estabelecimento de diretrizes de âmbito nacional para controle de perdas;

- A campanha para redução de perdas incentivada pelo BNH acabou dando origem ao Plano Estadual de Controle de Perdas (PECOP), implantado em 1981, com o objetivo de reduzir o volume perdido, bem como identificar e eliminar os fatores que ocasionam as perdas;



- Em 1995, criação do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA), por meio do Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS).

O SNIS elabora diagnóstico contendo informações coletadas e indicadores de desempenho, referentes a uma amostra de prestadoras de serviços de saneamento. Além do diagnóstico, são também produtos do SNIS: a série visão geral da prestação de serviços de água e esgotos, e o aplicativo da série histórica.

Tsutiya (2004) relata que o combate às perdas e ao desperdício de água acarreta redução do volume de água não contabilizado e exige adoção de medidas que reduzam as perdas reais e aparentes, para diminuir os custos de produção (consumo de energia, de produtos químicos e outros) e melhorar a eficiência dos serviços prestados e viabilizar o equilíbrio financeiro das prestadoras de serviços.

É necessário compreender também que há certo nível de perda que não pode ser evitado. Tanto do ponto de vista técnico (vazamentos ou extravasamentos que não puderam ser previstos), como do ponto de vista econômico (os custos do controle de perdas), é considerada aceitável uma perda de até 10% de água em um sistema de abastecimento (LAMBERT, 2002).

### 2.3.2 Origem das perdas

As causas para as perdas podem ser resultantes de diversas fontes. Dentre as causas das perdas de água, cita-se, por exemplo, os vazamentos e extravasamentos existentes ao longo do sistema. Moura et. al. (2004) representaram as origens e magnitude das perdas através da Tabela 1.

Tabela 1 - Origens e magnitudes das perdas.

<b>SUBSISTEMA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>MAGNITUDE</b>
<b>Adução de Água Bruta</b>	Vazamentos nas tubulações	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Limpeza do poço de sucção	
<b>Tratamento</b>	Vazamentos estruturais	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Lavagem de filtros	
	Descarga de lodo	
<b>Reservação</b>	Vazamentos estruturais	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Extravasamentos	
	Limpeza	

SUBSISTEMA	ORIGEM	MAGNITUDE
<b>Adução de Água Tratada</b>	Vazamentos nas tubulações	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Limpeza do poço de sucção	
	Descargas	
<b>Distribuição</b>	Vazamentos na rede	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões
	Vazamentos em ramais	
	Descargas	

Fonte: Moura et. al. (2004).

Com base na Tabela 1, depreende-se que as perdas consideradas pelos autores como significativas são as relacionadas ao tratamento e a distribuição de água. Sendo de todas, as perdas na distribuição as mais impactantes do ponto de vista social, pois envolvem a interrupção do abastecimento e a redução da água disponível enquanto os reparos são realizados (FONTANA, 2012).

Desta forma, Moura *et al.* (2004) também indicaram as possíveis causas desse tipo de perda em diferentes fases de desenvolvimento do sistema de abastecimento. Essas causas podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Causas Prováveis de Falhas e Rupturas em Tubulações.

FASE DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CAUSA DA RUPTURA
<b>Planejamento e Projeto</b>	Subdimensionamento	Sobrepessão
	Ausência de ventosas	Subpessão
	Cálculo transientes	Sub e sobrepessão
	Regras de operação	Sub e sobrepessão
	Setorização	Sobrepessão
	Treinamento	Sub e sobrepessão
<b>Construção</b>	Construtivas	
	Materiais	
	Peças	
	Equipamentos	
<b>Operação</b>	Treinamento	
	Enchimento	Sub e sobrepessão
	Esvaziamento	Subpessão
	Manobras	Sub e sobrepessão
	Ausência de regras	Sub e sobrepessão
	Treinamento	Sub e sobrepessão

<b>FASE DA FALHA</b>	<b>CAUSA DA FALHA</b>	<b>CAUSA DA RUPTURA</b>
<b>Manutenção</b>	Sem prevenção	
	Malfeita	
	Treinamento	
	Interação operação/usuário	
	Tempo de resposta	
<b>Expansão</b>	Sem projeto	Sub e sobrepressão
	Sem visão conjunta	Sub e sobrepressão

**Fonte:** Moura et. al. (2004)

Além das causas citadas na Tabela 2, existem ainda as possíveis causas que podem ser provenientes de uma combinação aleatória de fatores como os tipos de materiais utilizados, composição, idade e métodos de junção dos componentes do sistema de abastecimento de água.

Por conseguinte, avaliar a operação de cada unidade do sistema de abastecimento de água, estimando as perdas de água e energia elétrica (para o estabelecimento de metas), é estratégia importante nas ações para melhorar o desempenho operacional da concessionária responsável pelo sistema (BARRETO e PEREIRA, 2017).

### 2.3.2.1 Prevenção de Perdas

No Brasil, a preocupação com a redução das perdas surgiu na década de 1970, e existem poucas publicações nacionais sobre o assunto. No cenário internacional, a redução de perdas teve início no século XIX. Um marco relevante foi à criação da Força Tarefa de Perdas de Água (Water Loss Task Force) da International Water Association (IWA) em 1996, na cidade de Londres (Inglaterra), cujo objetivo é desenvolver e promover as melhores práticas internacionais em gerenciamento de perdas de água. Como referências internacionais de melhores práticas em perdas, destacam-se o Japão e a Inglaterra (PALO, 2010).

De acordo com Puust *et al.* (2010), os principais métodos de prevenção de perdas existentes na atualidade podem ser classificados em:

- Métodos de detecção e localização de vazamentos;
- Métodos de avaliação de perdas que estão se concentrando em medir a quantidade de água perdida;
- Métodos de controle de vazamentos que são voltados para o controle eficaz dos níveis corrente e futuro de perdas.

Os métodos de detecção e localização de vazamentos buscam diminuir o tempo entre a ocorrência do vazamento e o seu conhecimento. Para isso, as principais técnicas disponíveis podem ser segmentadas em: reativas, através de informações dos clientes ou de outras fontes; e proativas, através do controle dos fluxos (MOUNCE *et. al.*, 2010).

Os métodos de avaliação de perdas que se concentram em medir a quantidade de água perdida são baseados em medições e estimativas de água produzida e consumida. As abordagens utilizadas podem ser classificadas como: Top-down, nas quais é considerado primeiro o sistema como todo, para depois serem observados os módulos específicos que o compõem; e Bottom-up, nas quais ocorre exatamente o oposto (PUUST *et al.*, 2010).

Por fim, os métodos de controle de vazamentos se concentram no monitoramento do sistema de abastecimento através, por exemplo, da vazão mínima noturna registrada (FONTANA, 2012).

## **2.4 Setorização**

O setor de abastecimento é a unidade básica operacional de um sistema distribuidor de água que corresponde às linhas primárias e secundárias de uma determinada área. A área pode ser abastecida diretamente a partir de uma derivação de adutora ou, indiretamente, através de um reservatório setorial (MOTTA, 2010).

Para definir um setor de abastecimento é necessário levar em conta, principalmente, as condições topográficas e o perfil dos consumidores na área a ser atendida. Definidos esses parâmetros será possível posicionar os reservatórios, dimensionar as linhas de distribuição e definir todos os acessórios necessários ao abastecimento. A NBR 12218 (2017) estabelece que a pressão estática máxima a que as redes de distribuição podem ser submetidas é de 50 metros de coluna d'água (mca) e a mínima dinâmica é de 10 mca.

A partir desse limite, inicia-se a concepção propriamente do setor de abastecimento, definindo-se o posicionamento de reservatórios, limites de zona de pressão, áreas abastecidas por boosteres e áreas controladas por válvulas redutoras de pressão. Os setores de abastecimento podem ter uma ou mais zonas de pressão que serão determinadas conforme a configuração topográfica da área a ser abastecida.

Nos locais onde as condições de pressões máximas e mínimas não sejam satisfeitas, deve-se utilizar equipamentos acessórios para garantir o abastecimento satisfatório, sejam: boosteres para atender os pontos mais elevados do setor, localizados acima do plano

piezométrico; Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) para reduzir a pressão nos pontos onde estas superam os valores de pressão máxima estabelecida em norma (MOTTA, 2010).

Ainda de acordo com MOTTA (2010), em sistemas existentes, mesmo que a implantação tenha sido precedida de um adequado projeto de engenharia, as ampliações da distribuição para atender as áreas de expansão nem sempre ocorrem de modo organizado. As ocupações periféricas ocorrem, geralmente, nos fundos de vale e nas encostas, o que para a distribuição de água gera regiões com pressões elevadas ou com pressões insuficientes para o abastecimento, respectivamente. Essa condição hidráulica é bastante favorável à ocorrência das perdas reais de água.

Portanto, deve-se organizar a distribuição de água em setores que permitam maior eficiência e controle dos volumes de água distribuídos, possibilitando ações mais assertivas no que se refere ao controle de perdas.

A setorização visa obter um sistema com pressões controladas, diminuindo perdas e reduzindo o uso de energia elétrica. Para tal, se faz necessário observações em campo e monitoramento de pressões dinâmicas na distribuição. Além disso, pode-se utilizar a modelagem matemática, por meio de softwares, para simulação hidráulica do comportamento dos setores existentes e os resultados das intervenções nos setores propostos.

## **2.5 Modelagem Hidráulica**

A modelagem matemática ou computacional teve significativa evolução com o aumento da capacidade e velocidade de processamento dos computadores, que viabilizaram a manipulação de uma grande quantidade de dados e a realização de séries de cálculos com grande velocidade e precisão. A aplicação de modelos matemáticos teve com isso uma expressiva arrancada, o que permitiu o desenvolvimento e utilização em diversas áreas (PALO, 2010).

Junto da evolução tecnológica computacional, no âmbito do saneamento, tem-se a ampla utilização de ferramentas de modelagem matemática na atualidade, principalmente no combate às perdas de água. Neste contexto, Marchi *et al.* (2017), destacam em seus estudos que a modelagem hidráulica é uma eficaz ferramenta de gestão de sistemas de abastecimento de água, haja vista que possibilita ao usuário simular inúmeros cenários, economizando recursos da companhia e otimizando os serviços prestados. Os autores ressaltam ainda que o uso da modelagem hidráulica viabiliza a realização de testes de situações com o objetivo de orientar as intervenções físicas no sistema por meio das melhores respostas dadas pelo software.

A modelagem matemática é uma ferramenta muito útil para simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição (MOTTA, 2010). Com a simulação hidráulica, são obtidos resultados que permitem avaliar e conhecer o comportamento hidráulico do sistema. A criação de cenários atuais e futuros demonstram quais ações trarão o maior retorno financeiro e operacional, mesmo sem se ter executado as ações planejadas (PALO, 2010).

Segundo Motta (2010), através de simulações, é possível identificar determinados pontos de rede onde as pressões estão muito elevadas, bem como onde a rede não atende a população com a pressão mínima (10 metros de coluna d'água), o que pode ser decorrente de perdas elevadas. Desta maneira, com base nos resultados das simulações pode-se tomar decisões como a instalação de válvulas redutoras de pressão – VRPs, substituição de redes, novas setorizações, mudanças de limites de setores, dentre outras.

Os programas disponíveis no mercado introduziram uma importante melhoria para o planejamento dos sistemas de distribuição de água. Para o controle de perdas na distribuição, a modelagem matemática pode fornecer indicações fundamentais de onde realizar intervenções que permitam maior eficiência operacional e redução das pressões na rede (MOTTA, 2010).

Os programas mais utilizados possuem recursos bastante avançados de entrada de dados e permitem simulações em regime permanente ou simulações em tempo entendido. Também é possível simular o comportamento desde os reservatórios setoriais até as redes de distribuição secundárias. Alguns dos programas possuem ferramentas de calibração do modelo com entradas de dados de uma estação remota, ou seja, pode-se alimentar o modelo com dados reais de campo que estejam sendo medidos e transmitidos. As entradas de dados também podem ser realizadas a partir de base de dados georreferenciadas ou informações gráficas de bases digitais dos cadastros da rede de distribuição (MOTTA, 2010).

O algoritmo de cálculo da maioria dos programas se resume na solução da matriz topológica. Aos nós da rede se associam as equações de verificação da continuidade das vazões e às malhas fechadas se verifica o balanceamento entre as cargas disponíveis, condições de contorno, definidas pelos níveis dos reservatórios, cargas acrescentadas por bombas e dissipadas nas válvulas e singularidades (CARRIJO, 2001).

A calibração do modelo é fundamental para se obter a maior fidelidade do comportamento do sistema de distribuição. Para tanto, quanto maior a confiabilidade dos dados, melhores os resultados obtidos.

Para a montagem e calibração dos modelos, são necessárias as informações de extensão de redes, diâmetros e interligações, a partir dos dados cadastrais da rede de distribuição,

verificando-se os pontos notáveis importantes; tipos dos materiais das redes, os valores dos coeficientes de rugosidade, as válvulas de manobras, reservatórios etc.; o ajuste simultâneo das pressões medidas em campo, juntamente com vazões, corrigindo-se os valores de rugosidade e de perdas localizadas.

### 2.5.1 Softwares de Modelagem Hidráulica

Os softwares de modelagem são responsáveis por processar as informações da rede que foram inseridas como dados de entrada (diâmetro e posição das tubulações, dados de consumo de água, funcionamento de bombas e válvulas, dentre outras), além de fornecer uma saída (resposta), como por exemplo, a pressão em determinado ponto da rede, vazão de água em determinado trecho, variação do nível de determinado reservatório e assim por diante (MARCHI *et al.*, 2017).

Atualmente, existem duas soluções principais de mercado disponível para realizar este trabalho. Uma delas é o software livre EPANET e a outra é o software WaterGEMS, da Bentley. Estas ferramentas oferecem aos profissionais maior rapidez na execução dos modelos e análises com maior nível de detalhamento (PALO, 2010).

Desenvolvido pela USEPA em 1993, o EPANET é um software de distribuição gratuita, com código aberto, distribuído de forma executável e a biblioteca dinâmica. A primeira é indicada para simulações hidráulicas, enquanto a segunda tem sido usada para estudos e análises que envolvem otimização, calibração e vazamentos. A versão nacional foi traduzida e adaptada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS, da Universidade Federal da Paraíba – UFPB e funciona nos sistemas operacionais Microsoft® Windows 98 e em suas versões mais recentes (DIUANA e OGAWA, 2015).

Em seu manual, pode-se observar as principais ferramentas e utilidades:

- Número ilimitado de componentes da rede;
- Cálculo da perda de carga por Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou ChezyManning;
- Cálculo de perdas locais;
- Modelagem de bombas, cálculo de energia e seus custos;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas, como redutora de pressão, de perda de carga fixa, reguladora de vazão e etc.;
- Modelagem de reservatórios – tanto de nível fixo quanto de nível variável;
- Modelagem da relação pressão-vazão efluente de dispositivos emissores;

- Possibilidade de usar uma ou múltiplas condições de operação do sistema de controle simples;
- Além da capacidade de modelar qualidade da água.

Segundo Diuana e Ogawa (2015), o EPANET permite simulações hidráulicas estáticas e dinâmicas e as calcula pelo método iterativo, através do uso do método do Gradiente. Tendo a simulação hidráulica como dados de entrada: o traçado da rede, a posição dos nós, o consumo base e cota de cada nó, o diâmetro das tubulações e os dados referentes ao reservatório. Após as simulações o modelo calcula as cotas piezométricas em cada nó e as velocidades nos trechos.

No que concerne ao software WaterGEMS, Tonial (2014) afirma que este permite a representação de sistemas compostos por redes de tubulações (malhadas ou ramificadas), estações de bombeamento, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e/ou variável.

Para o desenvolvimento do presente estudo, foi utilizado o software proprietário Bentley WaterGEMS. Segundo Marchi *et al.*, (2017), esse software apresenta ferramentas facilitadas de integração para a importação de cadastro de redes, importação de cotas e de distribuição de demandas de água assim como ferramenta de gerenciamento de cenários, que permite ao usuário testar diversas alternativas operacionais dentro do mesmo arquivo, proporcionando maior agilidade no processo de construção e análise.

O software WaterGEMS é aplicado no desenvolvimento de inúmeros cenários que buscam reproduzir os dados obtidos em campo para calibração inicial do modelo, permite também avaliar os efeitos econômicos e hidráulicos ao se operar o sistema real de uma forma diferente, além de possibilitar o desenvolvimento de novos cenários que evidenciam os ganhos que podem ser alcançados através de uma maior automatização deste sistema, considerando sempre os efeitos do aumento da população dos municípios (TONIAL, 2014).

## **2.6 Aerofotogrametria**

A obtenção de produtos fotogramétricos a partir de aerofotogrametria utilizando VANTs e câmeras digitais de pequeno formato, não métricas e não pré-calibradas, é possível devido ao advento da técnica computacional denominada Structure from Motion Photogrammetry ou somente Structure from Motion (SfM). Segundo Micheletti, Chandler e Lane (2015), a capacidade do uso de métodos baseados em SfM para extrair dados espaciais de



alta resolução e acurácia, utilizando câmeras digitais comuns, é realmente notável e pode atender a uma série de novas investigações no campo da pesquisa científica.

A resolução espacial dos produtos fotogramétricos é influenciada pela altura de voo e pelas características da câmera utilizada. Quanto maior a altura de voo, maior será a área de abrangência no terreno de cada pixel na imagem tomada e, portanto, menor será sua resolução espacial. Esta por sua vez, pode ser expressa pela densidade de pontos da nuvem de pontos adensada e pelo termo Ground Sample Distance (GSD), que se refere ao tamanho da área amostrada no terreno para cada pixel na ortofoto ou no modelo digital de elevação. Ou seja, um GSD igual a 10 cm significa que cada pixel na ortofoto ou MDT está representando uma área de 10 cm x 10 cm no terreno.

O percentual de sobreposição entre imagens influencia diretamente a estimativa da orientação e da posição das tomadas de imagem, parâmetros de calibração da câmera e na riqueza de detalhes geometria da cena reconstruída. Os softwares disponíveis para planejamento inteligente e controle de voo autônomo, em geral, disponibilizam a opção de captura de imagens em um plano ortogonal ao terreno com linhas paralelas, formando uma caixa de voo sobre a área de interesse; a distância entre as linhas paralelas de voo e entre cada imagem a ser tomada na linha é calculada em função do tipo de câmera e da altura de voo.

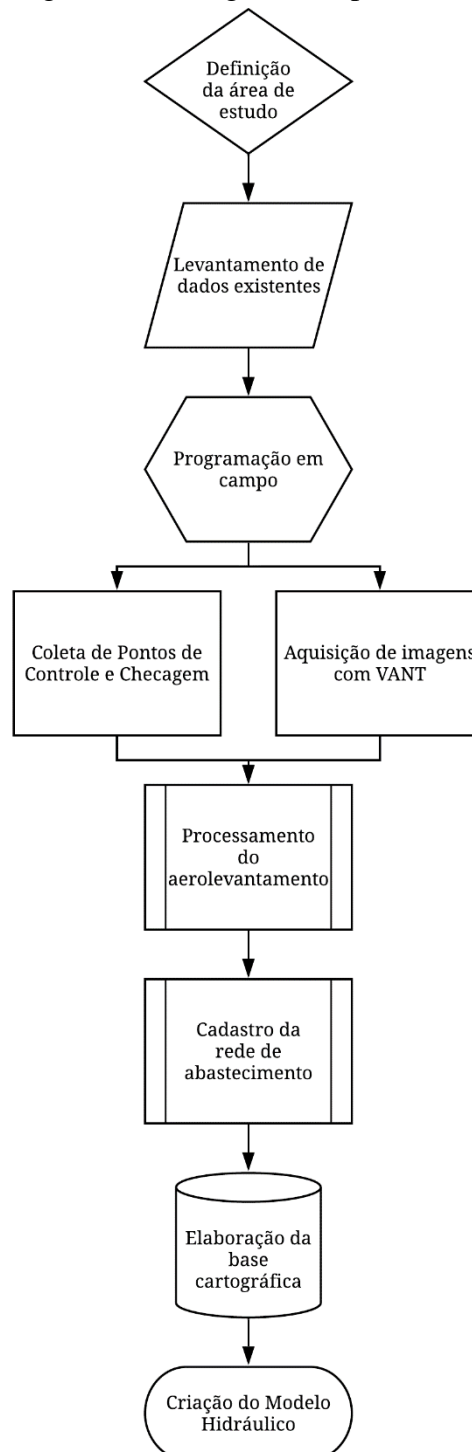
De acordo com Agisoft LLC (2016), é necessária uma sobreposição lateral de, no mínimo, 60% entre imagens de linhas vizinhas e sobreposição frontal de, aproximadamente, 80% entre imagens subsequentes na mesma linha. Tomadas de imagens em geometrias diferentes à da caixa de voo tradicional, como imagens oblíquas e em escalas diferentes, podem ser adicionadas para enriquecer a entrada de dados e possibilitar uma estimativa mais precisa dos modelos tridimensionais, o que requer uma atenção espacial na concepção da missão de levantamento com VANT (MICHELETTI; CHANDLER; LANE, 2015b).

O controle geométrico e posicional se refere à metodologia utilizada para o ajuste, à otimização e à avaliação da acurácia geométrica e posicional dos produtos fotogramétricos gerados. Para tanto, é comum o uso de pontos de controle terrestre (Ground Control Points, ou GCP), que são pontos, pré-sinalizados no interior da área coberta pelo levantamento, georreferenciados utilizando técnicas de geodésia e/ou topografia, e, posteriormente, identificados nas imagens obtidas pelo aerolevanteamento. A utilização de pontos de controle terrestre fornece parâmetros de rotação, translação e fator de escala para refinar o ajuste geométrico e posicional, bem como possibilita a estimativa de precisão e acurácia dos produtos fotogramétricos. Segundo Micheletti, Chandler e Lane (2015a), é recomendável um número mínimo de cinco pontos de controle.

### 3 METODOLOGIA

Na presente seção, será descrita a metodologia utilizada em todas as etapas de mapeamento para criação da base cartográfica e MDT (curvas de nível) para construção do modelo hidráulico com auxílio do software Bentley WaterGEMS, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de processos.

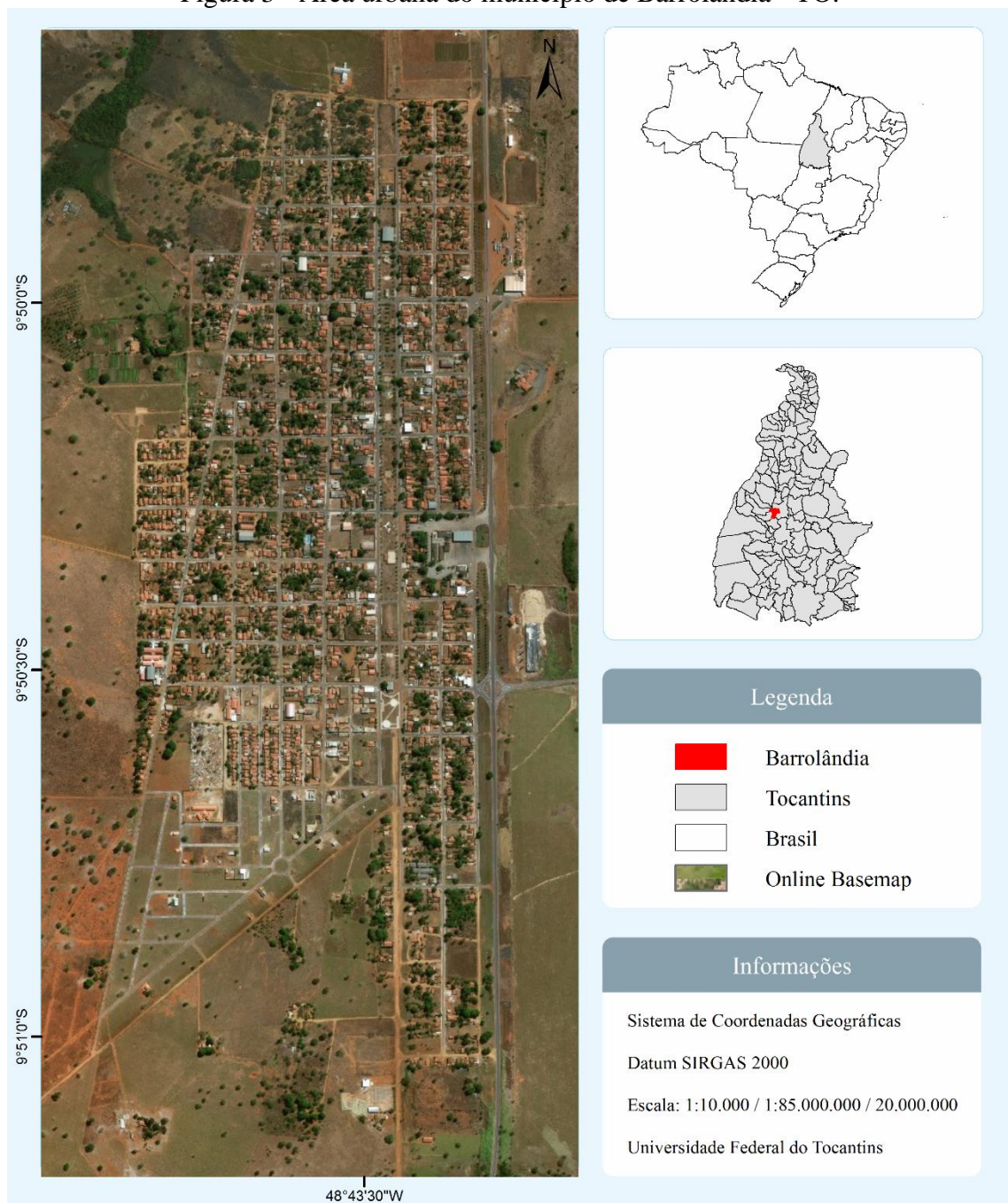


Fonte: autor (2019).

### 3.1 Área de estudo

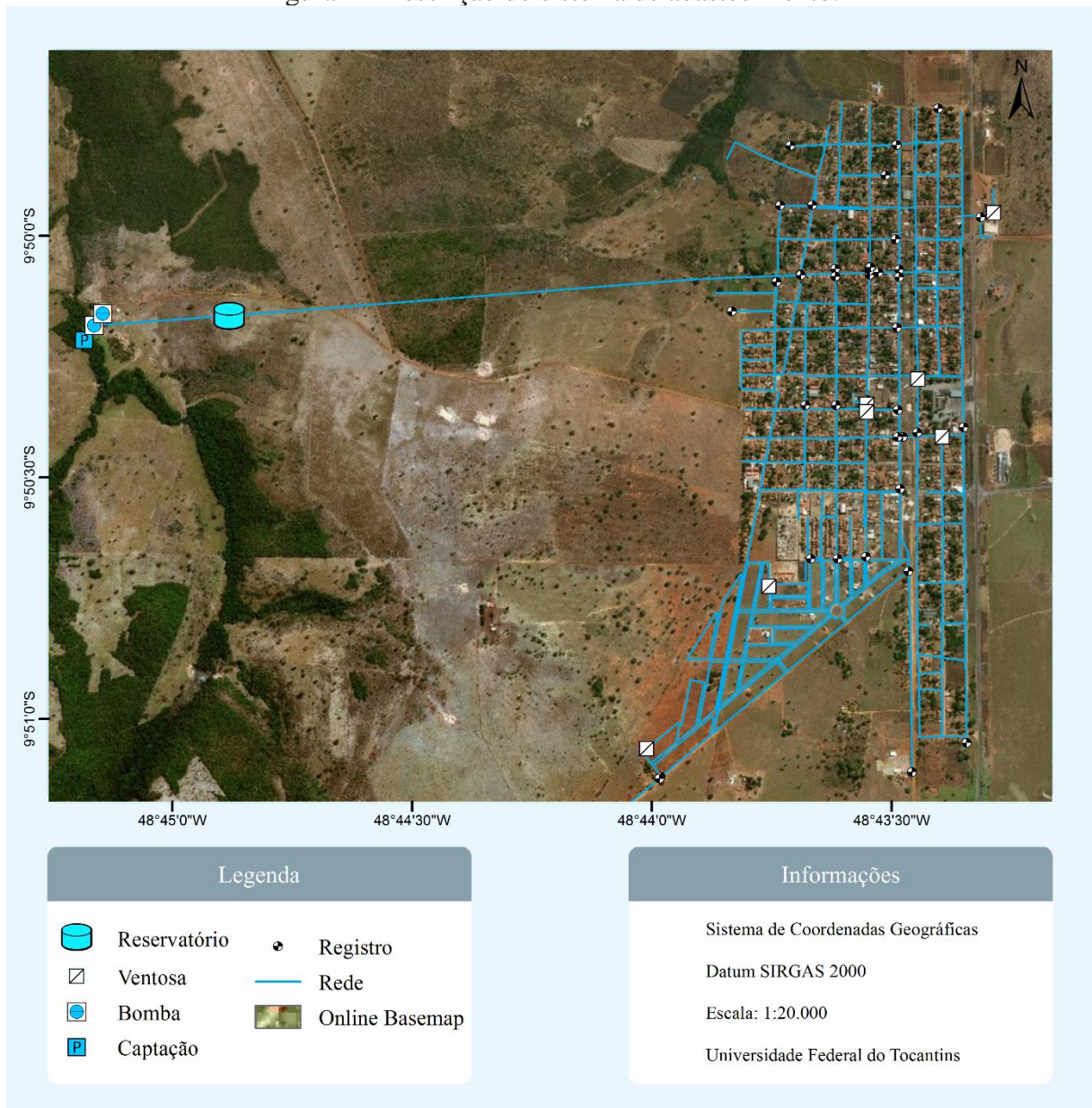
Barrolândia é um município brasileiro localizado às margens da rodovia Transbrasiliana (BR-153), no estado do Tocantins. Possui 5.643 habitantes (IBGE, 2017) e situa-se a uma latitude  $09^{\circ}50'08''$  sul e a uma longitude  $48^{\circ}43'31''$  oeste. A Figura 3 evidencia a área urbana da cidade onde foi desenvolvido o presente estudo.

Figura 3 - Área urbana do município de Barrolândia - TO.



Fonte: autor (2019).

Figura 4 - Descrição do sistema de abastecimento.



Fonte: autor (2019).

No que se refere ao sistema de abastecimento de água local (Figura 4), é composto por uma estação de tratamento (ETA 001), que realiza sua função após a captação superficial no Ribeirão Mutamba. Logo em seguida, tem-se o reservatório apoiado (RAP 001), o qual é abastecido pelo conjunto moto-bomba de 22,5 cavalos por meio da rede de 100 mm de ferro fundido (FoFo).

O abastecimento da cidade é realizado por gravidade, com uso de redes de FoFo na saída do RAP até a chegada na área urbana, onde o material passa a ser PVC, com diâmetro predominante de 50 mm. As redes apresentam, predominantemente, elevada idade.

## 3.2 Levantamento de dados em campo

### 3.2.1 Aeronave

Para o levantamento aéreo, foi utilizado o VANT da fabricante DJI, modelo Mavic Pro (Figura 5) com autonomia de voo de 25 minutos, com captura simultânea de vídeo transmitido em tempo real para a estação de controle em solo, por meio de tecnologia Ocusync.

O VANT é um multirrotor com unidades barométricas e inerciais que possibilitam a aquisição de cenas com menores distorções, devido ao armazenamento de parâmetros relativos a angulação no momento da captura.

Figura 5 - VANT DJI Mavic Pro.



Fonte: autor (2019).

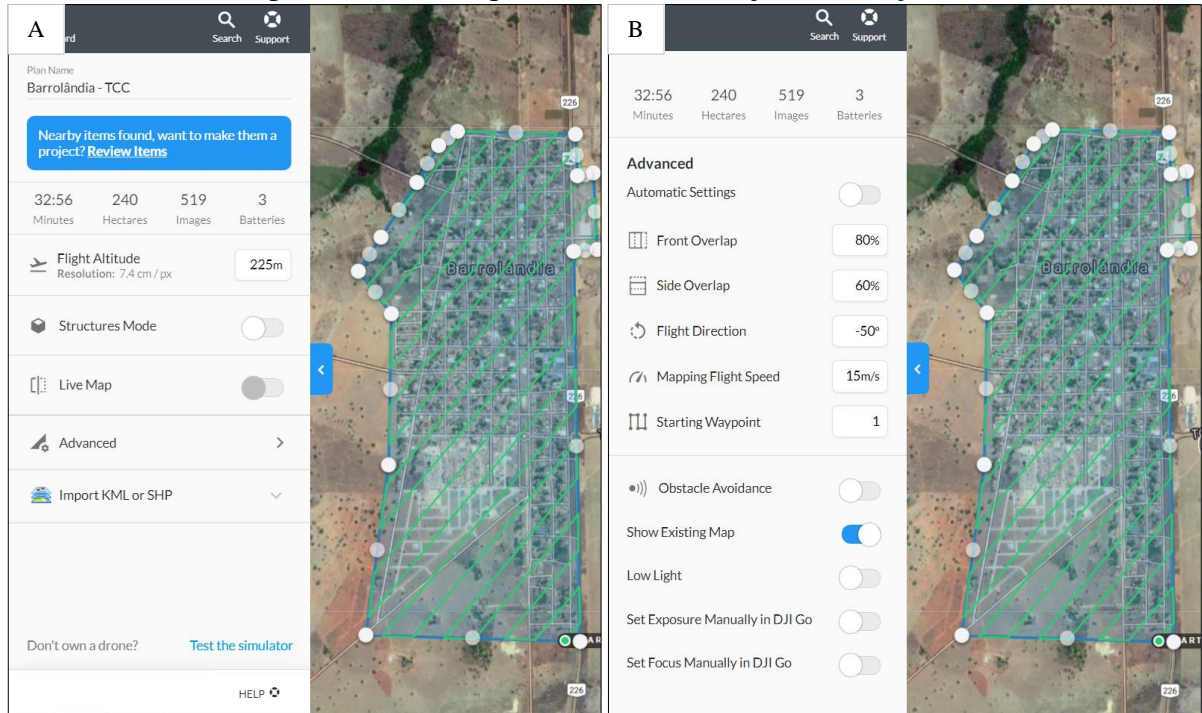
O sensor vem embarcado na aeronave, com ângulo de visão de 78° e 12 megapixels de resolução, com capacidade de coleta de cenas no espectro da luz visível, ligado diretamente ao sistema de posicionamento (GPS) acoplado.

### 3.2.2 Configurações pré-voo

As configurações de voo foram realizadas no aplicativo DroneDeploy, que está disponível para o sistema operacional Android e iOS. A altitude de voo foi estabelecida em 225 metros (Figura 6 – A), de modo a garantir um GSD de 7,4 cm/px, com sobreposição lateral de 60% entre imagens de linhas vizinhas e sobreposição frontal de 80% entre imagens

subsequentes na mesma linha (Figura 6 – B), seguindo as recomendações do manual do software de processamento das imagens, o Agisoft Metashape.

Figura 6 - A) Captura de tela do DroneDeploy com determinação da altitude de voo; B) Captura de tela do aplicativo na aba de ajustes avançados.



Fonte: autor (2019).

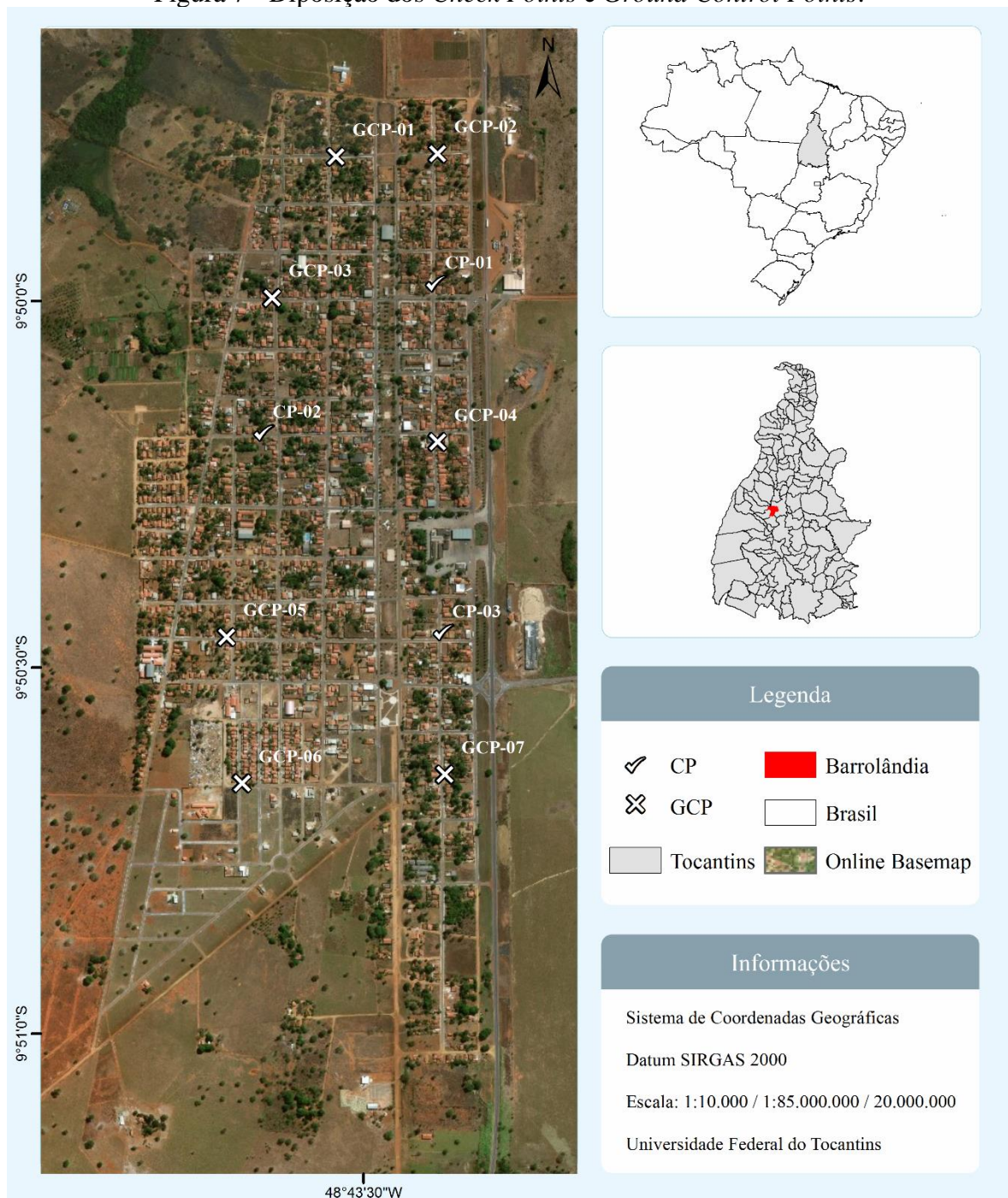
O voo aconteceu com o VANT operando no sentido sudoeste-nordeste, de maneira a qual o vento não incidiu frontalmente ou de cauda, haja vista que este cenário poderia causar desestabilização no aparelho e redução na autonomia da bateria.

As fotografias aéreas foram gravadas no dispositivo de memória inserido no VANT (cartão microSD) e posteriormente foram descarregadas para o computador, a fim de se iniciar o processamento.

### 3.2.3 Implantação dos pontos de apoio e checagem.

Os pontos foram previamente demarcados com tinta spray branca em formato de “X” (7 GCP e 3 CP) e distribuídos na área urbana do município (Figura 7). A escolha de formato e cor das marcações se justifica pela necessidade de identificação destes nas fotos obtidas pelo VANT, onde as coordenadas coletadas sejam do centros das demarcações, enquanto que a distribuição dos pontos foi realizada visando a obtenção de dados espaciais representativos de toda a área de estudo.

Figura 7 - Disposição dos *Check Points* e *Ground Control Points*.

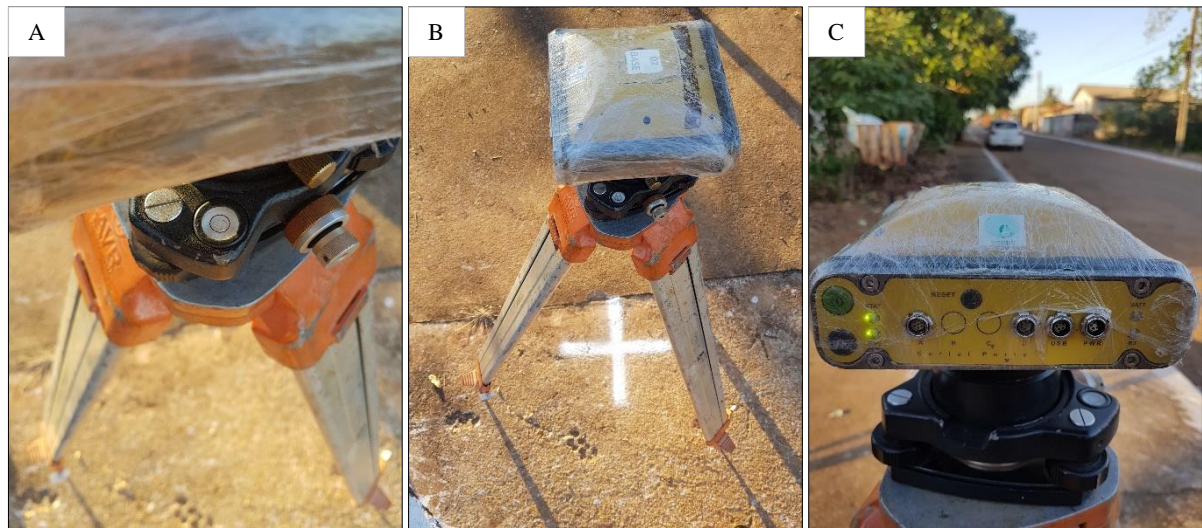


Fonte: autor (2019).

Nota-se que os pontos foram espaçados de maneira a representar todas as porções da área urbana, ou seja, há uniformidade na distribuição.

No que tange a aquisição dos dados planialtimétricos, foi realizado o levantamento estático com um receptor da TOPCON®, modelo Hiper Plus, devidamente nivelado (Figura 8 – A) e posicionado sobre a marcação (Figura 8 – B).

Figura 8 - A) Nível bolha centralizado; B) GPS Hiper Plus sobre marcação; C) Equipamento coletando dados.



Fonte: autor (2019).

Por ser um equipamento de duas frequências (L1/L2) (Figura 8 – C), considerou-se que o tempo de rastreamento do sinal de aproximadamente 1 hora, seria suficiente para garantir resultados satisfatórios, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Precisão esperada para um levantamento estático (metros).

Tipo de receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

Fonte: adaptado do IBGE (2019).

Para garantir a acurácia máxima da imagem, após a captura das imagens cujos dados posicionais foram armazenados, realizou-se o pós-processamento pelo método do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), por meio do serviço online de dados GNSS-IBGE-PPP que é um serviço gratuito para o pós-processamento de dados GNSS (Global Navigation Satellite System).

O IBGE-PPP processa dados GNSS (GPS e GLONASS) que foram coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático e gera relatórios oficiais. A Figura 9 apresenta as etapas de levantamento e pós-processamento que garantiram a precisão da imagem de alta resolução.



Figura 9 - Processamento Ponto Preciso (PPP).



Fonte: IBGE (2019).

### 3.2.4 Processamento das imagens adquiridas pelo VANT

Para o processamento das imagens capturadas no levantamento de campo, utilizou-se o software Agisoft Metashape, onde seguiu-se o fluxo de trabalho da aplicação.

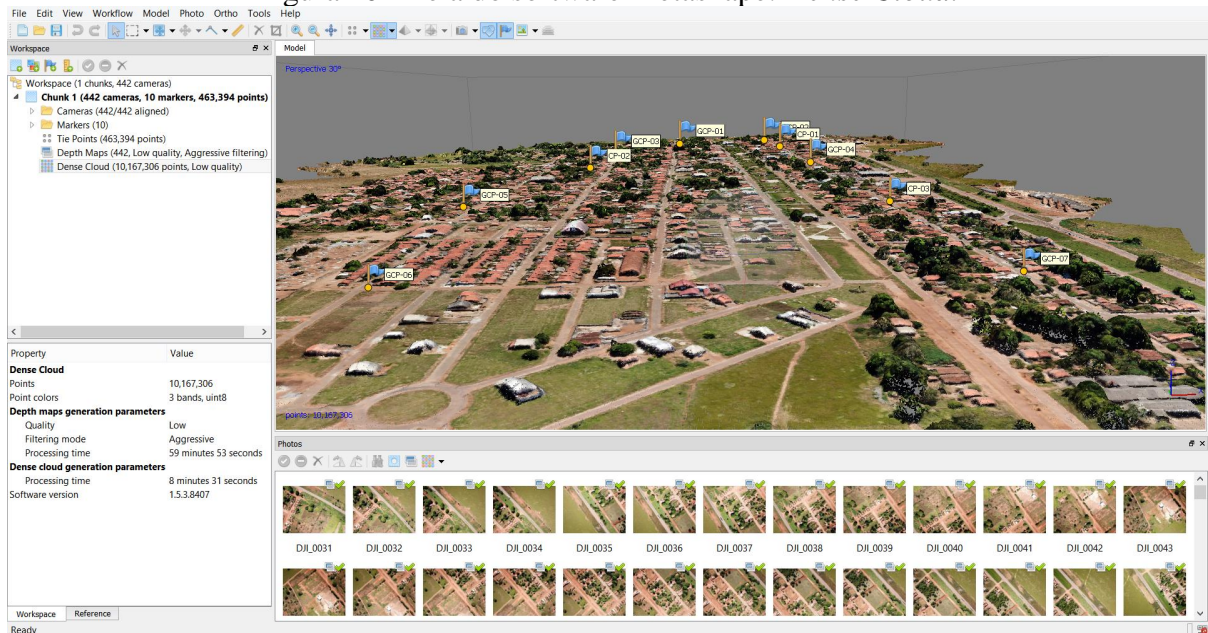
Em um primeiro momento, foi necessário fazer a importação dos arquivos de fotos para o programa. Foram 445 fotos a uma altura de 245 metros, que cobriram uma área de 3,26 km<sup>2</sup>.

Como o Metashape vem por padrão no sistema de coordenadas WGS84, foi necessário fazer a conversão para SIRGAS 2000, zona 22 Sul, a fim de estar de acordo com as recomendações atuais de cartografia.

Fez-se um primeiro alinhamento das fotos, para identificação dos alvos nas mesmas. Em seguida, houve a importação dos marcadores, que são os *ground control points* (GCP) e *check points* (CP), também denominados “pontos de controle terrestres” e “pontos de checagem, respectivamente. Os marcadores foram devidamente posicionados de acordo com os alvos marcados no terreno. Após essa etapa, foi feita uma otimização das fotos para que estas se adequassem às coordenadas corretas, depois dos apontamentos dos *ground control points*.

Seguindo o fluxo de trabalho, processou-se a nuvem densa de pontos (*dense cloud*) indicada na Figura 10. É válido ressaltar que, no que concerne à *dense cloud*, os pontos são pixels das imagens que formam o modelo tridimensional.

Figura 10 - Tela do software Metashape: *Dense Cloud*.



Fonte: autor (2019).

Como as imagens também exibem elementos que estão acima do nível do solo, foi necessário classificar a nuvem densa de pontos, de modo que os pontos de terreno ficaram isolados em uma categoria. Com a categoria citada anteriormente, se processou a malha. Esta superfície foi utilizada como base para o processamento do MDT. A partir do MDT, foram geradas as curvas de nível com equidistância de 1 metro.

Por fim, a última etapa consistiu em gerar o ortomosaico e exportar os produtos. Todo o processo com maior nível de detalhamento das fases executadas pode ser visualizado no Apêndice A.

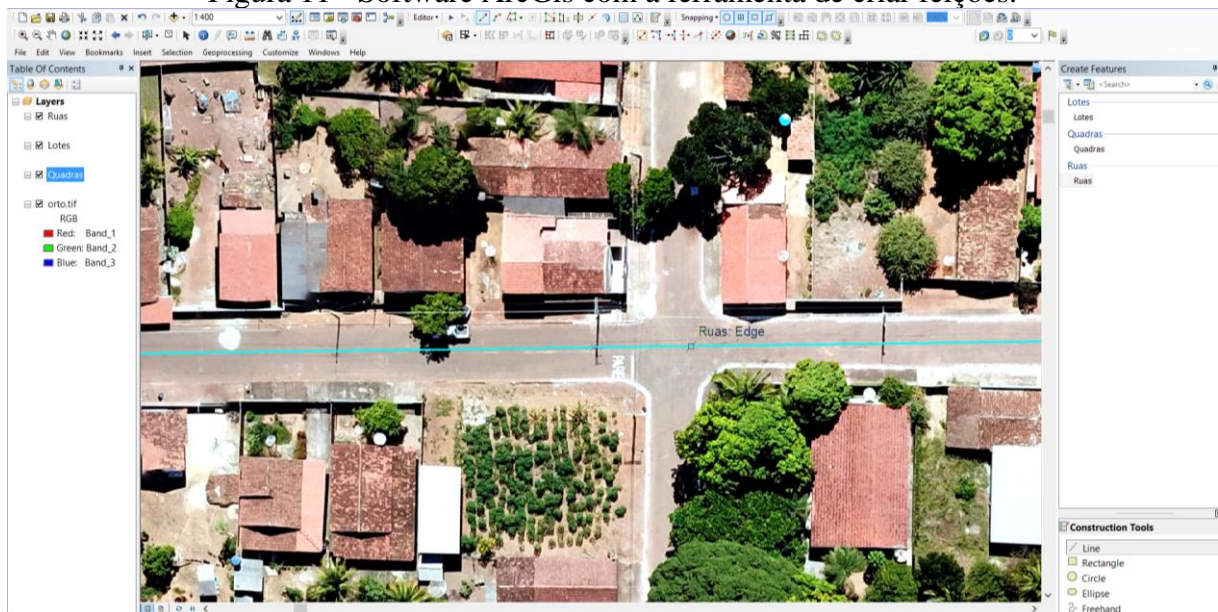
### 3.2.5 Validação dos produtos cartográficos gerados por meio da aerofotogrametria

Para validação do modelo, foram utilizados 3 pontos de checagem, que tiveram suas informações planialtimétricas comparadas às do modelo obtido. As discrepâncias planialtimétricas foram conferidas no relatório de processamento do software Metashape (Anexo II), que reporta em forma de tabela, as distâncias entre os pontos de checagem, e os que se observam nos modelos exportados. O cálculo do Erro Padrão também foi realizado (divisão do desvio padrão pela raiz quadrada do tamanho amostral), então os produtos puderam ser classificados com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC adequado.

### 3.3 Criação da base cartográfica

A base cartográfica foi criada a partir do ortomosaico georreferenciado. Para tal, utilizou-se o software ArcGis 10.5 como ferramenta de execução de camadas vetoriais dos lotes, quadras e vias do município, conforme a Figura 11. O processo foi realizado manualmente, sendo criado um *shapefile* para cada registro. As quadras e lotes foram desenhadas como polígonos e as vias como polilinhas.

Figura 11 - Software ArcGis com a ferramenta de criar feições.



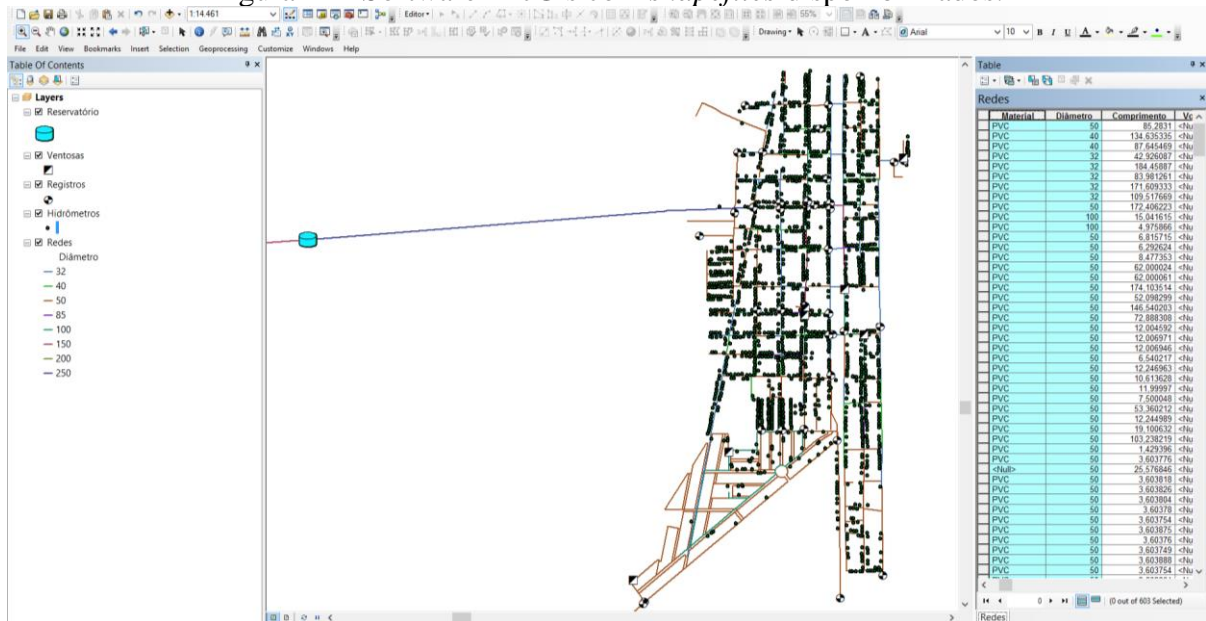
Fonte: autor (2019).

### 3.4 Cadastro da Rede de Abastecimento de Água (RDA)

Os dados referentes à rede de distribuição de água (RDA) de Barrolândia a serem utilizados no presente estudo foram cedidos pela BRK Ambiental, concessionária de água do município. O trâmite de solicitação e obtenção dos dados seguiu as premissas estabelecidas pela empresa, observando todos os processos e sigilo das informações.

A base disponibilizada pela concessionária, visualizada na Figura 12, compreende dados em formato de camada vetorial (*shapefile*), onde, dentre as informações disponíveis, especifica-se o material e diâmetro das redes, registros e ventosas; capacidade do reservatório e informações do volume micromedido por ligação.

Figura 12 - Software ArcGis com *shapefiles* disponibilizados.



Fonte: autor (2019).

### 3.5 Construção do modelo hidráulico

A construção do modelo foi realizada utilizando o software WaterGEMS. Como *input*, foi necessário possuir dados referentes à rede de abastecimento como diâmetro e material das tubulações, diâmetro das ventosas e registros, nome do reservatório e consumo micromedido médio dos últimos 12 meses com Índice de Perdas por Ligação (IPL), todos em formato *shapefile*.

Após a importação dos *shapefiles*, alguns erros apareceram devido a não conexão de componentes hidráulicos à rede, como foi o caso de registros e ventosas, que tiveram que ser anexadas ao sistema de forma manual.

Para inclusão de dados referentes ao terreno, foi utilizado a ferramenta “TRex Wizard”, onde selecionou-se o *shapefile* das curvas de nível previamente exportado do Agisoft Metashape. Vale destacar que as informações de topográficas referentes ao trecho do reservatório até a área urbana, foram disponibilizadas pela concessionária. Depois da inclusão das curvas de nível, todos os elementos passaram a possuir informações de elevação.

O Apêndice B abrange o passo-a-passo para construção do modelo hidráulico, conforme executado neste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Na presente seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos mediante aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

Para melhor organização e entendimento, os resultados foram divididos com base na ordem cronológica da metodologia, iniciando com os produtos resultantes do aerolevanteamento, que foram utilizados para geração da base cartográfica e, em seguida, a criação do modelo hidráulico e posterior avaliação das zonas de pressão.

### 4.1 Produtos da aerofotogrametria

#### 4.1.1 Georreferenciamento da área urbana

É de conhecimento a importância do georreferenciamento da base urbana para cadastro de redes e gestão municipal, visto que as cidades planejadas, possuem tais registros como forma de otimizar as informações espaciais. Além disso, no saneamento, possuir informações das RDA's, é imprescindível devido estas não serem visíveis, tendo em vista que estão abaixo da cota do terreno, ou seja, com o georreferenciamento, evita-se realizar grandes escavações para ter acesso a uma tubulação, por exemplo. Desta maneira, os pontos georreferenciados foram utilizados para corrigir a posição dos produtos, a fim de gerar base de maior precisão.

Finalizado o pós-processamento e de posse do Relatório de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE (Anexo I), avaliou-se a utilização dos *ground control points* (Tabela 4) e dos *check points* para aferir a acurácia do posicionamento X, Y e Z do modelo.

Tabela 4 - Ground Control Points.

Nome	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
GCP-01	0,0714	1,6406	-0,0747		1,6439
GCP-02	-1,1020	-0,2280	-0,0860		1,1280
GCP-03	2,6410	-0,5550	0,1970		2,7060
GCP-04	-1,5212	0,4325	-0,1456	<b>1,8252</b>	1,5882
GCP-05	1,3890	-2,1790	0,1950		2,5910
GCP-06	-1,4795	0,1547	-0,1353		1,4937
GCP-07	-0,1080	0,8210	0,0820		0,8320
<b>Total</b>	<b>1,4460</b>	<b>1,1140</b>	<b>0,1390</b>		<b>1,8310</b>

Fonte: Adaptado do software Metashape (2019).

Como marco de referência na aferição, foi considerado o Decreto N° 89.817, publicado no Diário Oficial da União de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Quanto à sua exatidão, foi obedecido o critério do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, que estabelece que 90% (noventa por cento) dos pontos bem definidos em uma carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar Erro Planialtimétrico superior ao PEC para a classe estabelecida.

Como se pode perceber, analisando o Decreto do PEC, o cálculo do Erro Padrão (EP) também é importante, pois assim como o Erro Planialtimétrico, é um parâmetro utilizado para análise da exatidão e precisão (qualidade posicional) para classificação da imagem corrigida, conforme os critérios do PEC, regulamentado pelo Decreto Lei N° 89.817.

Segundo o Decreto, a exatidão das cartas é classificada em Classes A, B e C, seguindo os critérios da Tabela 5.

Tabela 5 - PEC segundo as Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

Classes	Erro Planimétrico	Erro Padrão (EP)	Erro Altimétrico	Erro Padrão (EP)
A	0,5 mm x escala	0,3 mm x escala	1/2 da equidistância	1/3 da equidistância
B	0,8 mm x escala	0,5 mm x escala	3/5 da equidistância	2/5 da equidistância
C	1,0 mm x escala	0,6 mm x escala	3/4 da equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: Decreto N° 89.817, de 20 de junho de 1984 (Brasil, 1984).

Estabeleceu-se a meta de uma classificação de exatidão Classe A referente à imagem na escala 1:500.

Tabela 6 - *Check points*.

Nome	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
CP-01	13,1878	0,555474	2,26027		13,3916
CP-02	-11,554	-4,520	-1,199	<b>14,0598</b>	12,464
CP-03	15,176	-5,880	-13,556		21,182
<b>Total</b>	<b>13,388</b>	<b>4,2941</b>	<b>7,96498</b>		<b>16,1592</b>

Fonte: Adaptado do software Metashape (2019).

Considerando os resultados da aferição dos *check points* apresentados na Tabela 6, o produto confeccionado na escala 1:500, segundo a exatidão e precisão (qualidade posicional) com base no que está preconizado no Decreto Lei N° 89.817, enquadra-se na Classe A, uma

vez que o erro planimétrico médio (erro xy) de 0,14 m é menor que 0,25 m (0,5 mm X 500 = 250 mm) e o erro-padrão de 0,06 m, conforme elucidado pela Equação 1 resolvida, é menor que 0,15 m (0,3 mm X 500 = 150 mm).

$$EP = \sigma_{n-1} / \sqrt{n} \quad (1)$$

Sendo:

EP = Erro-padrão;

$\sigma_{n-1}$  = desvio padrão amostral (0,1081 m);

N = número de amostras (3 pontos de check);

$$EP = 0,1081 / \sqrt{3} = 0,06 \text{ m.}$$

Referente a altimetria, o erro encontrado foi de 0,08 m (erro z), que é menor do que 1/2 da equidistância das curvas de nível geradas, que foram de um em um metro. O erro-padrão de 0,05 m, calculado utilizando-se novamente a equação 1, é menor que 1/3 da equidistância (1 metro / 3 = 0,33 metros).

$$EP = 0,0831 / \sqrt{3} = 0,05 \text{ m.}$$

Portanto, o ortomosaico apresentou resolução espacial de 7,5 cm/pixel, possuindo precisão planimétrica e altimétrica de 14 cm e de 8 cm, respectivamente, atingindo o Padrão de Exatidão Cartográfica Classe A na escala 1:500, atendendo as exigências do georreferenciamento conforme o planejado.

#### 4.1.2 Base cadastral da área urbana

Na Figura 13, observa-se a resolução espacial atingida do ortomosaico, haja vista que é possível identificar detalhes do terreno com elevada precisão, tais como: meio fio, arborização, postes de rede elétrica, hidrantes e outros equipamentos urbanos.

Figura 13 - Ortomosaico gerado.



Fonte: autor (2019).

Utilizando o ortomosaico georreferenciado, foi possível criar uma base cartográfica de alta qualidade, o que viabiliza variadas possibilidades de aplicação em projetos futuros. Como exemplo, pode se destacar a ampliação de rede de abastecimento de água, rede coletora de esgoto ou projetos de pavimentação.



Na Figura 14, é possível observar o resultado da criação de feições que representam as vias do município. Também foi inserido em sua tabela de atributos, os nomes das 66 vias da cidade.

Figura 14 - Vias do município de Barrolândia.



Fonte: autor (2019).

As camadas vetoriais de quadras e lotes foram criadas conforme evidencia a Figura 15. Apesar da dificuldade encontrada para a confecção do microparcelamento, devido a não padronização das dimensões dos lotes, nota-se que foi possível concluir com êxito esta etapa, onde foram desenhados 2.826 lotes e 146 quadras no município.

Figura 15 - Quadras e lotes criados.

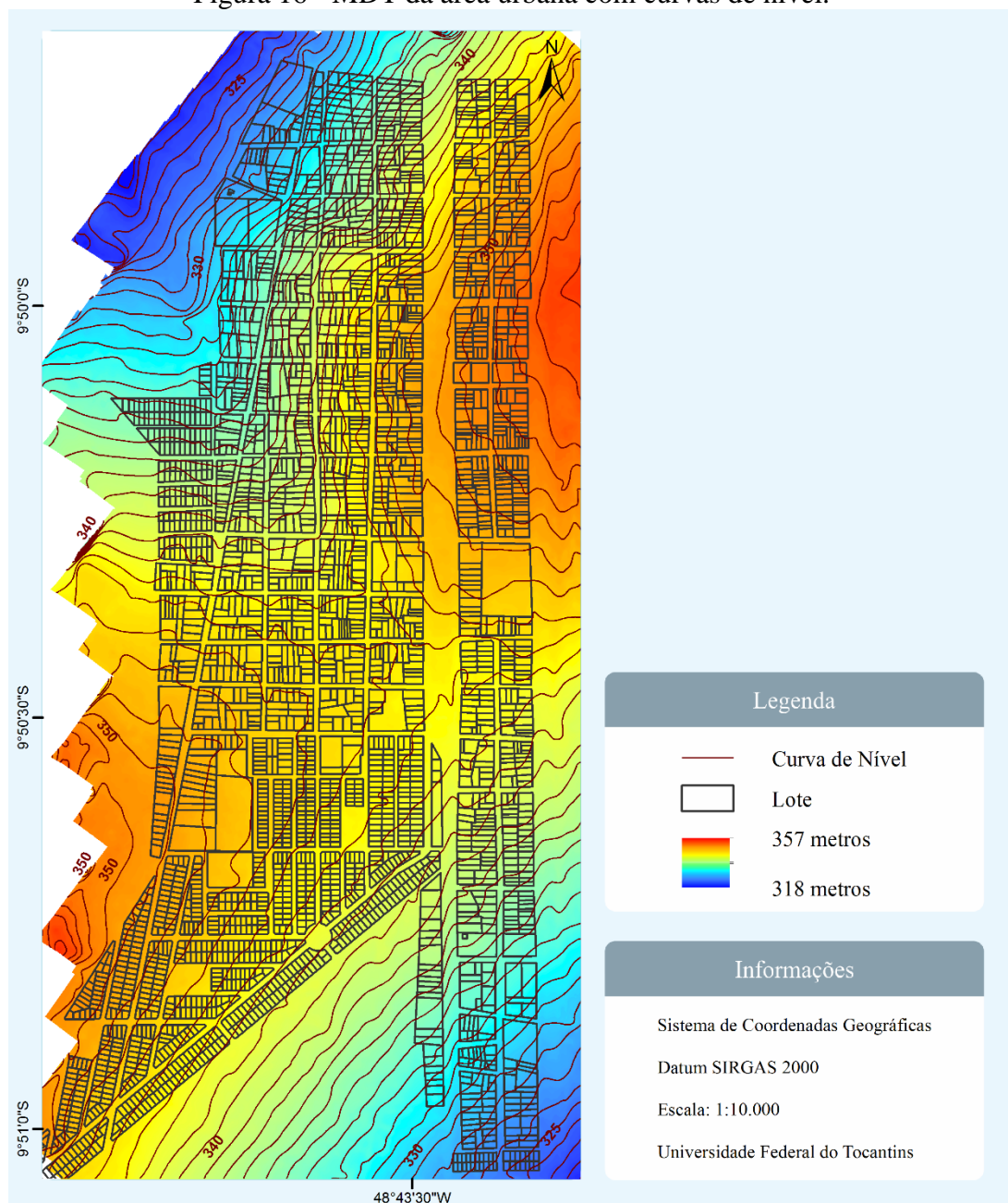


Fonte: autor (2019).

### 4.1.3 Modelo Digital de Terreno

Acerca do Modelo Digital de Terreno (MDT), nota-se uma melhor distribuição espacial das elevações da área objeto, como é possível verificar na Figura 16, que demonstra a escala hipsométrica de elevações. O modelo é uniforme devido a alta resolução radiométrica do levantamento aerofotogramétrico. A partir deste, foram obtidas as curvas de nível com equidistância de um metro, posteriormente inseridas como dado de entrada no modelo hidráulico.

Figura 16 - MDT da área urbana com curvas de nível.

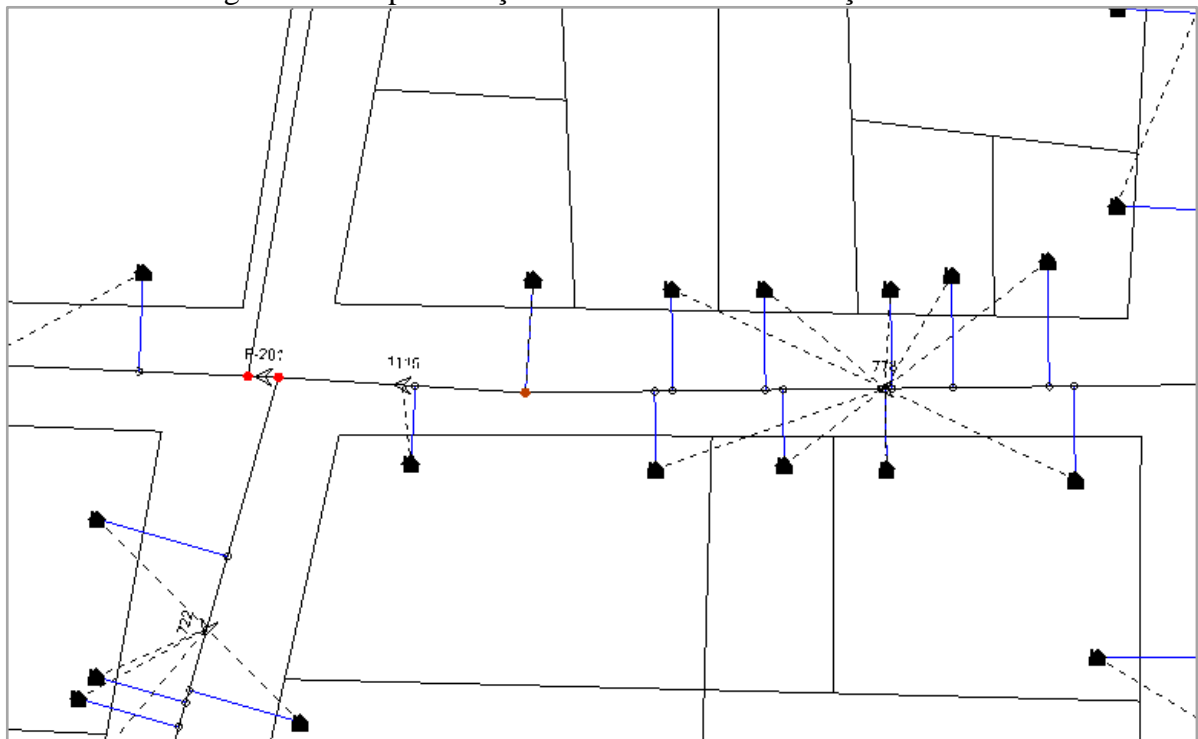


Fonte: autor (2019).

## 4.2 Modelo hidráulico

O modelo hidráulico foi construído considerando a base de alta precisão posicional do cadastro urbano. Assim, todos os elementos da rede de abastecimento cedidas pela concessionária local foram utilizados, bem como a base de lotes, quadras e vias elaboradas no presente estudo, que propiciaram melhor visualização e reconhecimento da área. O modelo apresenta indicação de fluxo de água na rede, com hidrômetros representados por casas (lotes), indicando os consumidores ligados à RDA, como pode ser visualizado na Figura 17.

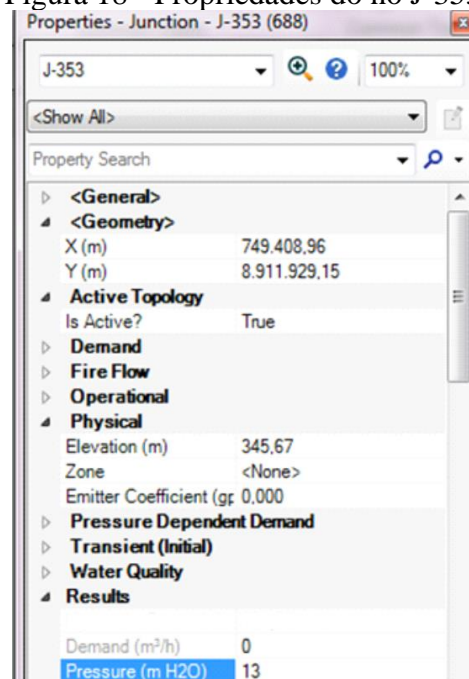
Figura 17 – Representação do modelo com inidicação de fluxo.



Fonte: autor (2019).

Os elementos presentes no modelo possuem propriedades que podem ser analisadas, tais como: coordenadas, elevação, valor da pressão e a informação de uso do elemento hidráulico, podendo ele estar ativo ou não (utilizado no caso de ventosas e registros), conforme demonstrado na Figura 18.

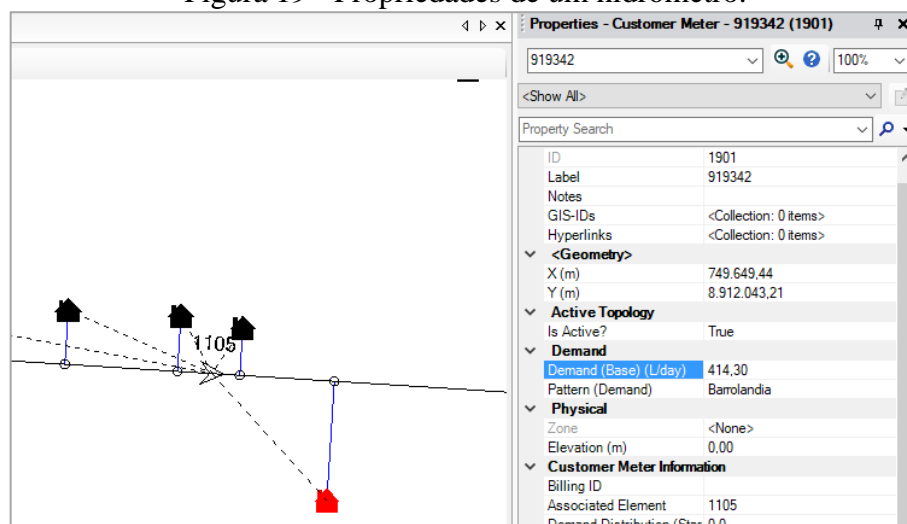
Figura 18 - Propriedades do nó J-353.



Fonte: autor (2019).

A partir do modelo criado, também pode-se realizar simulações de aumento de demanda, que pode ser aplicado quando um empreendimento é construído. Para este caso, realiza-se a simulação do aumento de consumo a fim de verificar se o sistema suportará as novas ligações. O procedimento de verificação evita a sobrecarga da rede, o desabastecimento e possíveis vazamentos. Para tal, são modificadas as informações de consumo de cliente, de modo que a vazão desse aumento de demanda, seja acrescida ao consumo padrão de uma residência, como se observa na Figura 19.

Figura 19 - Propriedades de um hidrômetro.



Fonte: autor (2019).

Figura 20 – Captura de tela da tabela de redes no modelo.

	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Has Check Valve?	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (m³/h)
1348: P-18	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	8,07
1347: P-17	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	8,07
243: 1124	100,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	7,96
354: 1126	100,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	7,90
949: 1127	100,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	7,84
1079: 691	100,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	6,46
922: 658	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	5,73
1262: 692	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	5,22
1245: 659	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	5,21
529: 1144	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	5,07
1140: 693	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	4,45
485: 1153	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	4,36
1255: 660	150,0	PVC	150,0	<input type="checkbox"/>	0,000	3,99

Fonte: autor (2019).

Na Figura 20, é possível visualizar as informações referentes aos trechos de rede, de maneira que se pode aplicar filtros por diâmetro, material, vazão e outros. Esta também pode ser exportada como relatório.

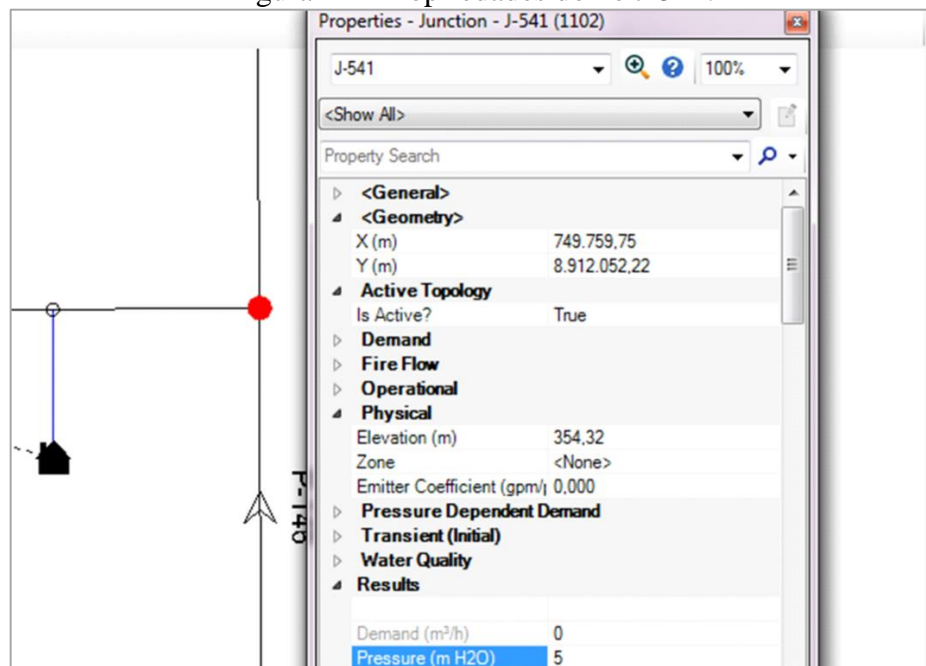
#### 4.2.1 Avaliação das pressões na rede de distribuição de água

As zonas de pressão são indicadores importantes para gestão e gerenciamento das redes de abastecimento de água, visto que possuem relação direta com o número de vazamentos e, consequentemente, as perdas de água na rede.

Fazendo uso do modelo, notou-se que existem regiões com excesso de pressão e outras convivem com pressões inferiores às necessárias para uso. Durante trabalho de campo, os moradores da região nordeste do município narraram que ao meio dia e ao anoitecer, horários de pico de consumo, a pressão cai, convergindo com os resultados obtidos no presente estudo.

O nó representado na Figura 21 se localiza em um dos pontos mais altos da cidade, próximo a rodovia Transbrasiliana, e apresenta pressão de 5 m.c.a., ou seja, o valor está abaixo do mínimo aceitável.

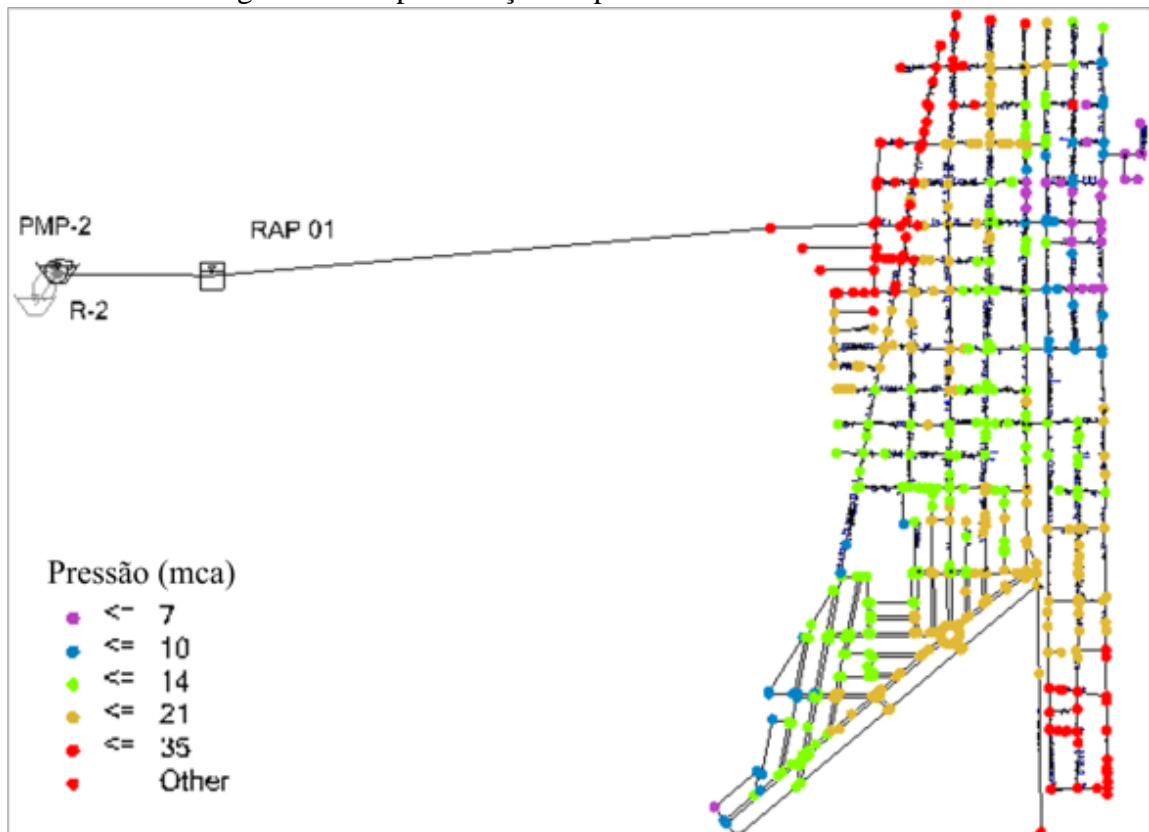
Figura 21 - Propriedades do nó J-541.



Fonte: autor (2019).

As pressões encontradas em toda a rede são demonstradas na Figura 22, onde é possível notar a partir da legenda de cores, as áreas de maior e menor pressão.

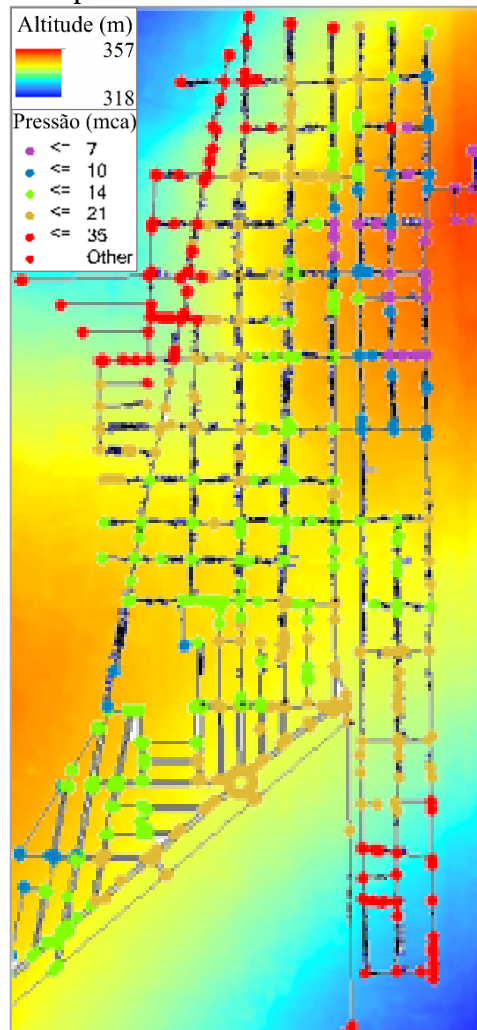
Figura 22 - Representação de pressão nos nós do modelo.



Fonte: autor (2019).

Observa-se nitidamente a relação das pressões com o MDT gerado anteriormente, a medida em que as zonas localizadas à sudeste e noroeste apresentam elevadas pressões, em decorrência das menores altitudes encontradas. De maneira similar, observa-se baixas pressões na região nordeste, onde se possui as maiores altitudes, como ilustra a Figura 23.

Figura 23 – Sobreposição das pressões encontradas na rede com o MDT da área urbana.



Fonte: autor (2019).

Desta maneira, depreende-se que as regiões noroeste e sudeste da cidade, possuem elevadas pressões, com valores próximos a 50 m.c.a, que são áreas mais sujeitas a gerar perdas no sistema.

Como explanado no decorrer do trabalho, a construção do modelo possibilita a tomada de decisão sem interferência no sistema de abastecimento. Além do mais, no que se refere às perdas na RDA, podem ser feitas análises nas zonas de pressão que indicam os locais onde há maior probabilidade de estarem ocorrendo vazamentos.



## 5 CONCLUSÃO

Após as análises e classificações referentes ao Decreto N° 89.817 de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), observou-se que o ortomosaico criado com resolução espacial de 7,5 cm/pixel possui precisão planimétrica de 14 cm e altimétrica de 8 cm, atingindo o PEC classe A na escala 1:500.

Deste modo, conclui-se que os produtos do aerolevante são totalmente válidos para criação de base cartográfica de qualidade, como realizado no trabalho em questão, onde foram criadas todas as vias, quadras e lotes do município de Barrolândia, por meio de feições vetoriais em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A geração do modelo digital de terreno possibilitou a obtenção de curvas de nível com equidistância de um metro, que ofereceu precisão adequada para as corretas informações de topografia, necessárias para criação do modelo hidráulico, visto que foi possível notar a relação direta entre o MDT e as pressões observadas no modelo.

É evidente que o modelo hidráulico é uma ferramenta que auxilia de forma incisiva a tomada de decisões, possibilitando uma análise otimizada e em tempo real de simulações na rede de abastecimento. Neste contexto, a fim de reduzir as perdas em uma RDA, constatou-se a necessidade de possuir tal ferramenta para controle de ações, avaliação de ponto críticos e como forma de propor soluções, como a instalação de VRRP's ou uso de *booster*, além de garantir maior assertividade no que se refere às intervenções em campo.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a calibração do modelo com dados de vazão e pressão obtidos em campo, visto que, desta maneira, o comportamento do modelo será mais fiel ao sistema em uso, devido aos ajustes de rugosidade dos tubos. Também seria importante levar em consideração a eficiência energética do conjunto, com otimização das bombas e possível instalação de inversores de frequência.

## REFERÊNCIAS

ABENDE. **Apostila do Curso de Detecção de Vazamentos Não Visíveis: Métodos Acústicos**. 1ª Edição. São Paulo: ABENDE - Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, 2003.

ALEGRE, H. *et al.* **Performance Indicators for Water Supply Services – Second Edition**, London: IWA Publishing, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY(ASP). **Manual of Photogrammetry**, 1966, 1220p.

ANTHONJ, C.; RECHENBURG, A.; KISTEMANN, T. **Water, sanitation and hygiene in wetlands. A case study from the Ewaso Narok Swamp, Kenya**. International Journal of Hygiene and Environmental Health, v. 219, n. 7, p. 606-616, 2016.

BARRETO, Gilberto Caldeira; PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Avaliação da operação e estimativa das perdas de água e de energia elétrica no 3º setor de abastecimento de água da região metropolitana de Belém**. Revista Traços, v. 11, n. 24, 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Snis.exe. Série Histórica, 2010a. 60 arquivos, 12 pastas (243mb). Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 07 de outubro de 2018.

BRASIL. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano/ Secretaria de Política Urbana. **Programa nacional de combate ao desperdício de água: DTA-A2 Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2004;

CARDOSO, E. R.; MELO, A. S. S. A.; DALFOVO, W. C. T. **Municipalização plena dos serviços de saneamento básico em Mato Grosso: efeitos e condições de desempenho**. In: Encontro Nacional de Economia, 43, 2015. Anais... Florianópolis, SC: ANPEC, 2015.

CARRIJO, I.B. **Gerenciamento de informações como forma de minimizar perdas em sistemas de abastecimento de água potável**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001.

CHEUNG, P.B.; REIS, L.F.R. **Estudo de objetivos múltiplos para reabilitação otimizada de sistemas de distribuição de água.** In: VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa (Brasil), 2006.

COLOMINA, P. M., **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 92, p. 79–97, 2014.

CUNHA, A. S. **Saneamento básico no Brasil: desenho institucional e desafios federativos.** Texto para Discussão 1565. Rio de Janeiro: IPEA, 2011.

DE SANEAMENTO, Manual. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). 1999.

DE SOUZA NUNES, Erivelton; FERREIRA, Francisco Diego Guedes; DE SOUSA, Eliane Pinheiro. **DESEMPENHO DA PROVISÃO DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NO CEARÁ.** Revista Estudo & Debate, v. 25, n. 1, 2018.

EISENBEISS, H. **The Potential of Unmanned aerial Vehicles for mapping.** In: hogrammetric Week 11. Diter Fritsch (Ed). Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. p. 135-144. 2011.

FONTANA, Marcele Elisa. **Modelo de setorização para manobra em rede de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras.** 2012.

GALVÃO JUNIOR, A. C.; PAGANINI, W. S. **Aspectos conceituais da regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, n.1, p. 7988, 2009.

HUTTON, G.; HALLER, L.; WATER, S. **Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level.** World Health Organization. 2004. Disponível em: < <http://apps.who.int/iris/handle/10665/68568>>. Acesso em: 25/09/2018.

KEMPER, K.; SADOFF, C. **The global water challenge. World Bank Global Issues Seminar Series.** Disponível em: < <http://siteresources.worldbank.org/EXTABOUTUS/Resources/WaterPaper.pdf>>. Acesso em: 25/09/2018.

LAMBERT, A. O. **International Report on water loses management techniques.** Water Science and Technology: Water Supply, v. 2, p. 1-20, 2002.

LEITÃO, Sanderson Alberto Medeiros. **Escassez de água na cidade: Riscos e vulnerabilidades no contexto da cidade de Curitiba/PR**. 2009. 248p. 2009. Tese de doutorado. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARCHI, Chélsa Eichholz *et al.* XI-037-**Estudo de otimização operacional do sistema de abastecimento de água do distrito do rio vermelho–redução de perdas de água**, 2017.

MICHELETTI, Natan; CHANDLER, Jim H.; LANE, Stuart N. **Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone**. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 4, p. 473-486, 2015.

MIRANDA, E.C. **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água: indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade**. Brasília, 2002. Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental recursos hídricos) - Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2002. 215p;

MOREIRA, T. **Saneamento básico: desafios e oportunidades**. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 6, p.1-18, 1996.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B.; MACHELL, J. **Development Verification of Online Artificial Intelligence System for Detection of Bursts and Other Abnormal Flows**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 136, p. 309-318, 2010.

MOURA, Eulina Maria *et al.* **Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explicação sobre os tipos e principais causas**. IV SEREA-Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), v. 8, 2004.

ORTIZ-CORREA, J. S.; RESENDE FILHO, M.; DINAR, A. **Impact of access to water and sanitation services on educational attainment**. *Water Resources and Economics*, v. 14, p. 31-43, 2016.

PALO, Paulo Rogério. **Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnóstico de perdas de água.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PUUST, R.; KAPELAN, Z.; SAVIC, D. A.; KOPPEL, T. **A review of methods for leakage management in pipe networks.** Urban Water Journal, v. 7, p. 25-45, 2010.

SALVINO, Moisés Menezes. **Modelagem computacional visando a reabilitação de redes hidráulicas.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba.

SILVA, Ricardo Toledo *et al.*. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água. **Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Brasília,** 1998.

TONIAL, Fernanda de Carli. **Eficiência energética de estações de bombeamento:** estudo de caso do campus do vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

TSUTIYA, T.M. **Abastecimento de água.** São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004;

VENSON, A. H.; RODRIGUES, K. C. T. T.; CAMARA, M. R. G. **Distribuição espacial do acesso aos serviços de saneamento básico nas microrregiões brasileiras de 2006 a 2013.** In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 13, 2015. **Anais...**Curitiba, PR: ENABER, 2015.

WALSKI, Thomas M.; GESSLER, Johannes; SJOSTROM, John W. **Water Distribution Systems: simulation and sizing.** Michigan: Lewis Publishers, 1990.

WALSKI, Thomas M. *et al.*. **Advanced water distribution modeling and management.** 2003.

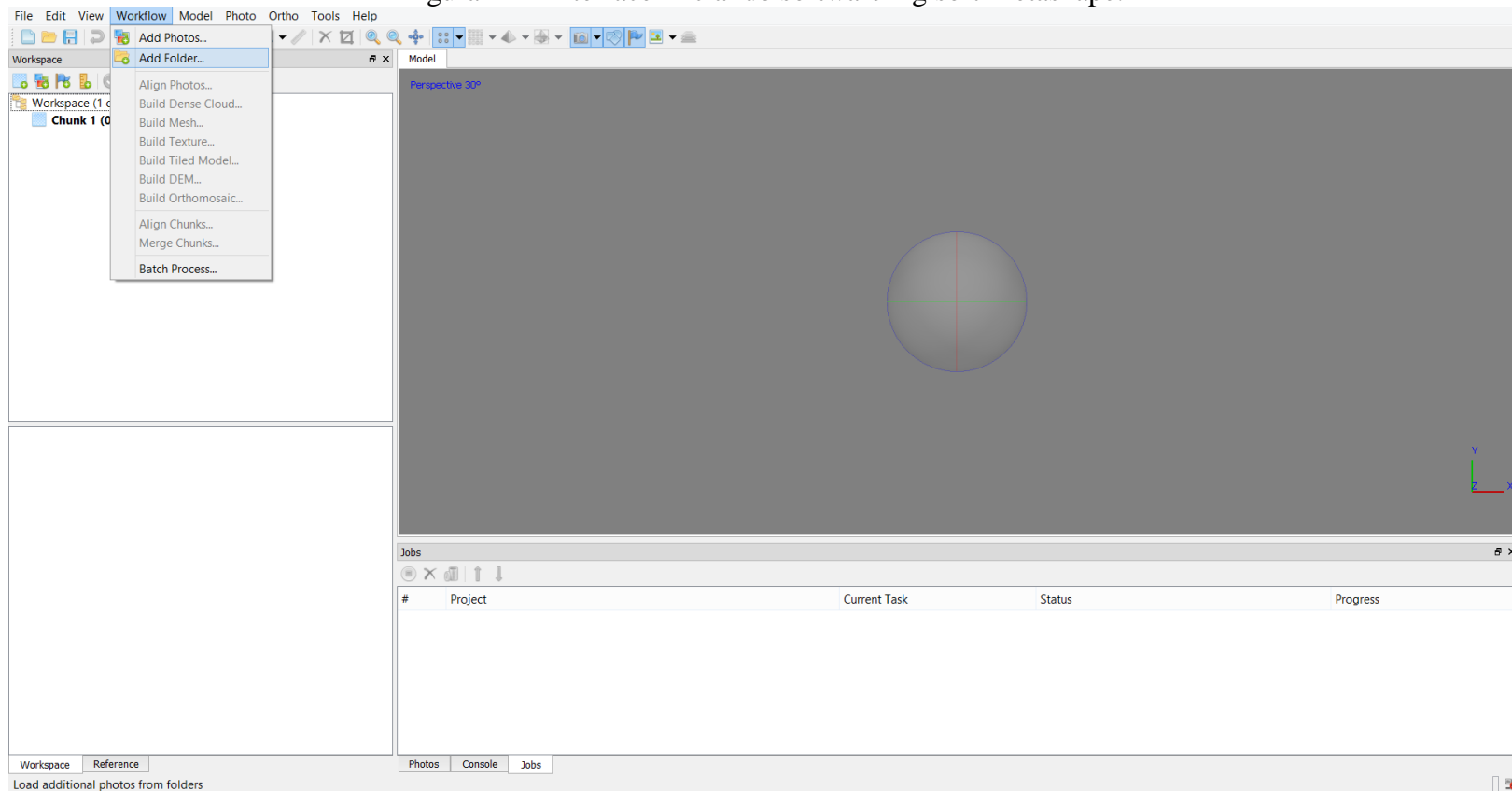
WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines.** World Health Organization, 2017. Disponível em: <[https://www.unicef.org/publications/index\\_96611.html](https://www.unicef.org/publications/index_96611.html)>. Acesso em 25/09/2018.

ZANIBONI, Nilton. **Equipamentos e metodologias para o controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água.** 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

## APÊNDICE A – FLUXO DE TRABALHO DO SOFTWARE METASHAPE

Na interface do software Agisoft Metashape, é necessário seguir o fluxo de trabalho. Inicialmente, deve-se acessar o ícone “*workflow*” na barra de ferramentas e clicar na opção “*Add folder*”. Este comando abrirá o explorador de arquivos, de modo que a pasta com as imagens seja importada, ou seja, ocorre o *input* dos arquivos.

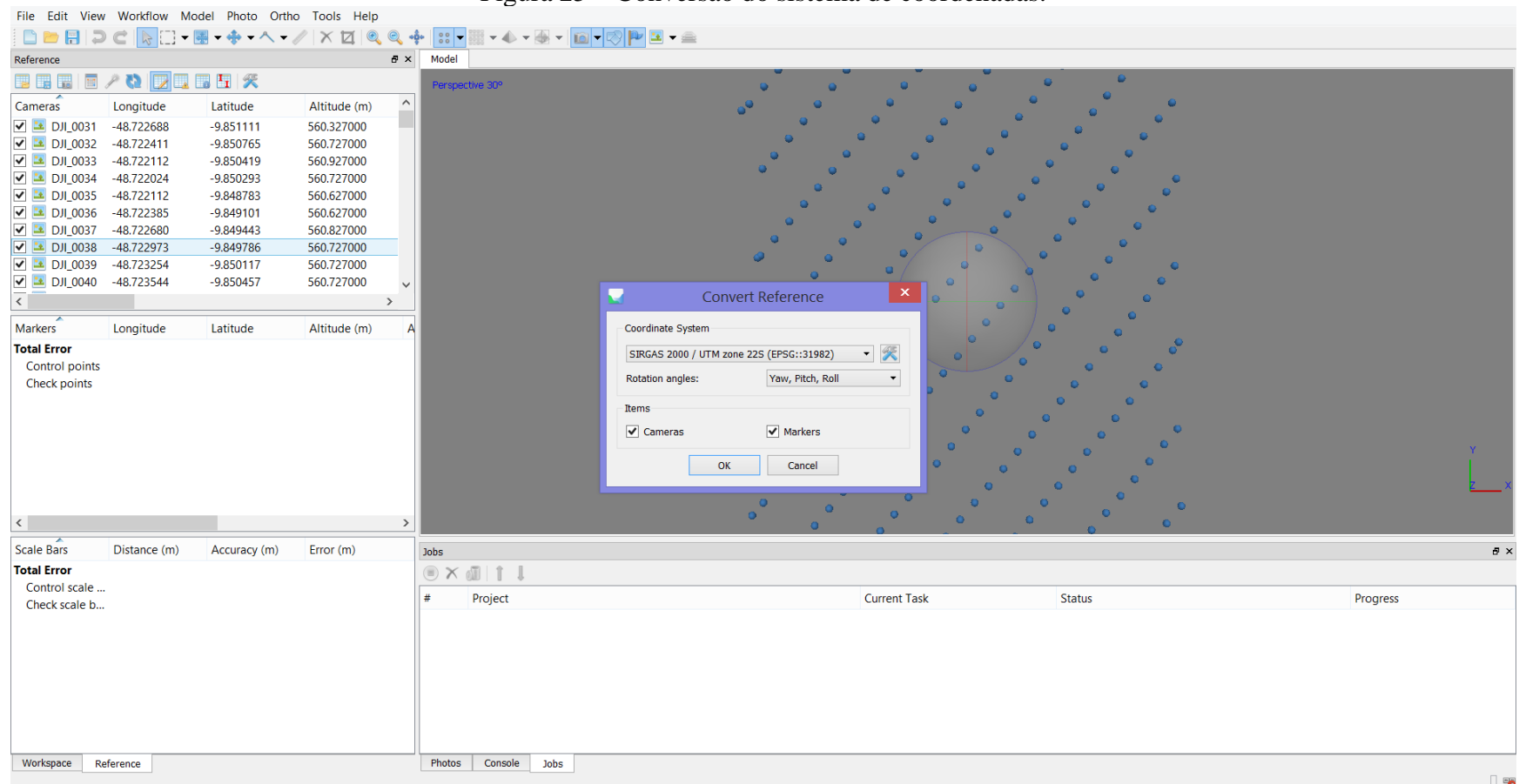
Figura 24 – Interface inicial do software Agisoft Metashape.



Fonte: autor (2019).

Uma vez que todos os arquivos foram carregados, faz-se a conversão para o sistema de coordenadas de interesse, que é o UTM SIRGAS 2000 e seleciona-se a zona correta de acordo com a localidade de estudo. O presente trabalho foi desenvolvido utilizando SIRGAS 2000, zona 22 Sul.

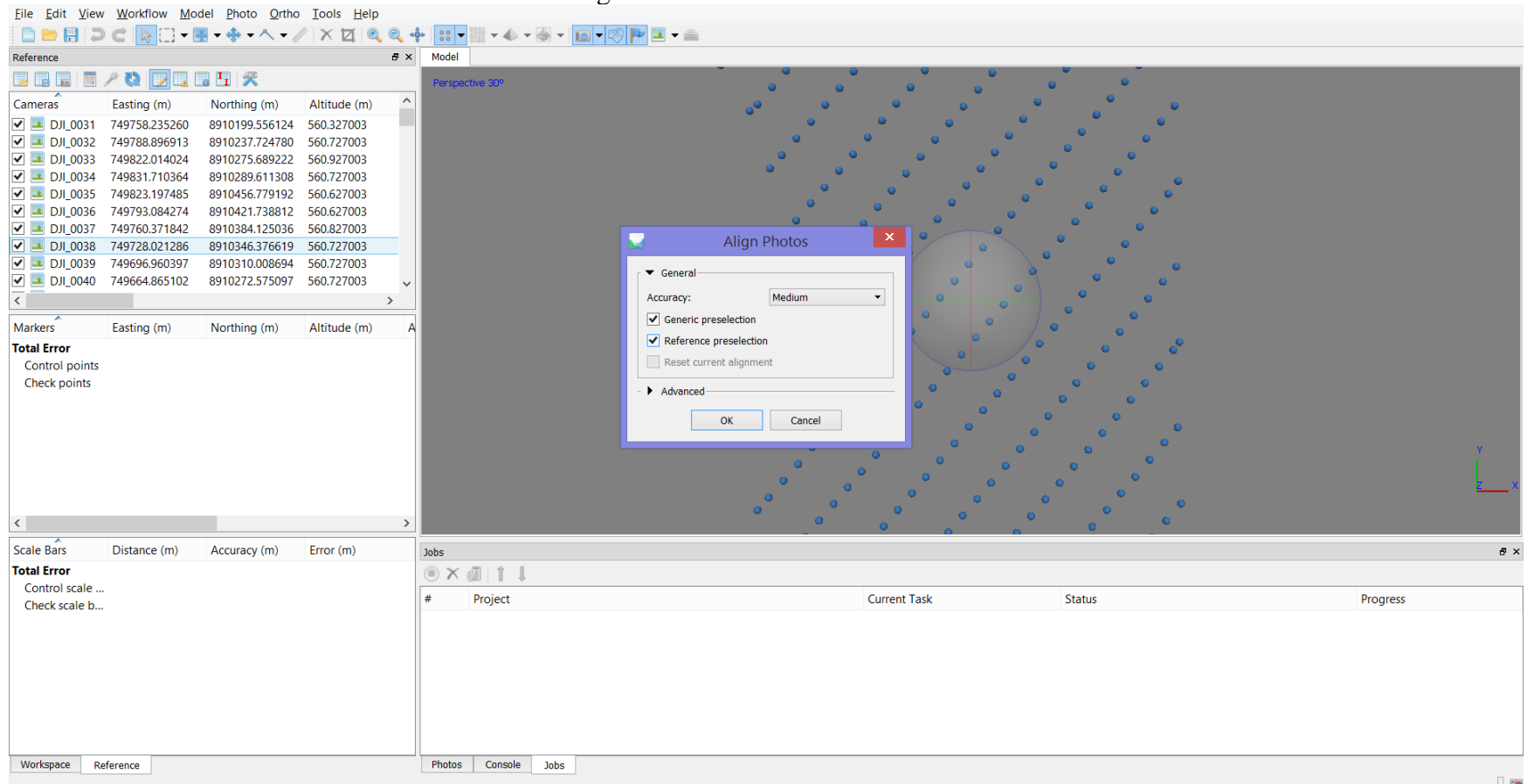
Figura 25 – Conversão do sistema de coordenadas.



Fonte: autor (2019).

A primeira etapa de processamento das imagens consiste no alinhamento. O programa busca pontos homólogos e faz amarrações entre eles. A pré-seleção pode ser feita de maneira genérica (*generic preselection*), que leva em consideração os elementos da foto e também pelas coordenadas presentes nos arquivos (*reference preselection*), visto que esta informação está presente nos metadados de todas as fotos.

Figura 26 – Alinhamento de fotos.

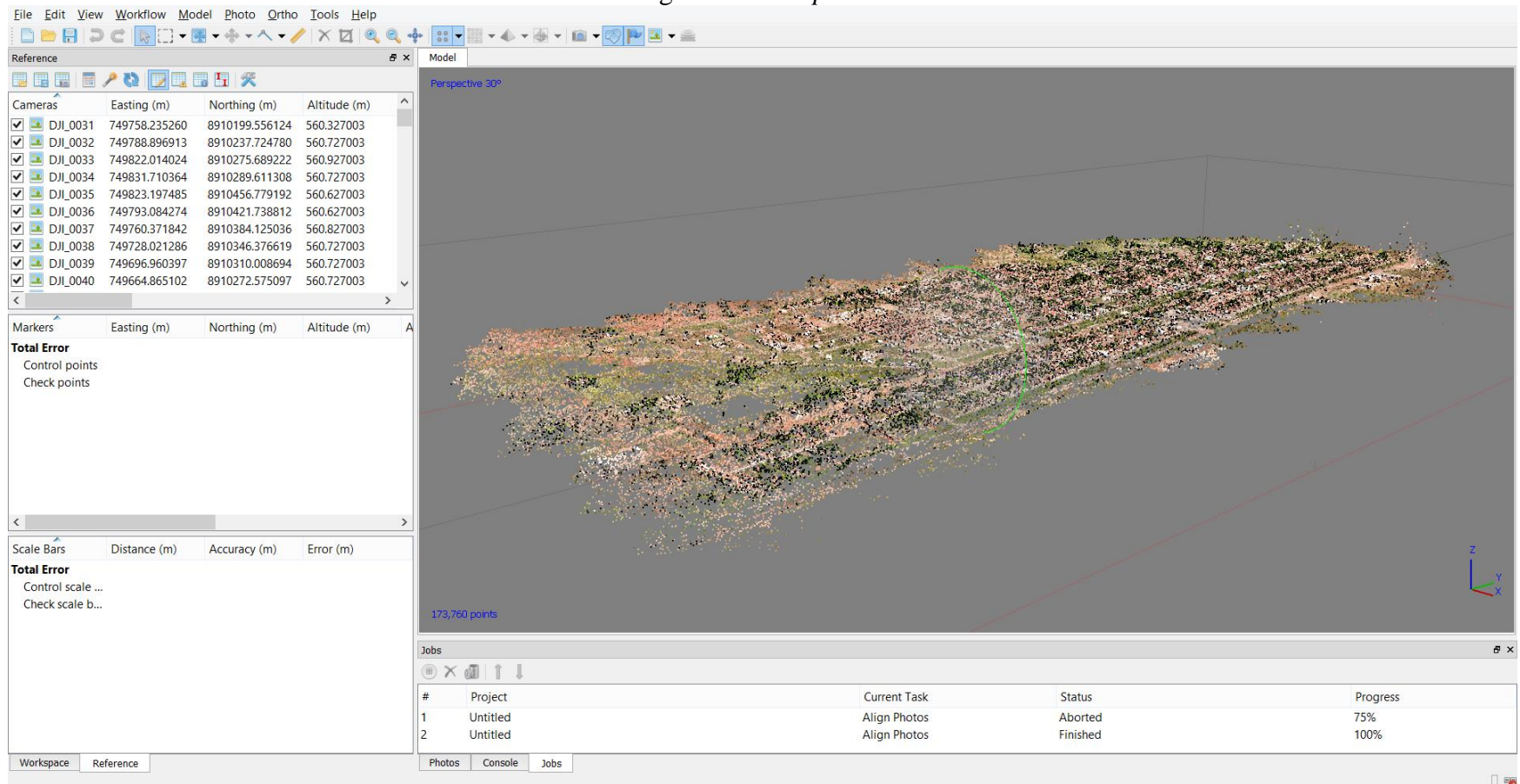


Fonte: autor (2019).



Como resultado do processo anterior, obtém-se a nuvem de pontos de amarração (*tie points*), que oferece a primeira visualização em 3D do processo.

Figura 27 – Tie points.



Fonte: autor (2019).

O próximo passo se refere à importação dos Pontos de Controle e Pontos de checagem, que devem estar listados em um arquivo .txt ou .csv contendo o nome, coordenadas leste e norte, seguido da altitude. É importante verificar a correta ordem dos dados nas colunas, de forma que estes se remetam realmente aos campos de importação.

Figura 28 – Importação dos pontos de controle e checagem.

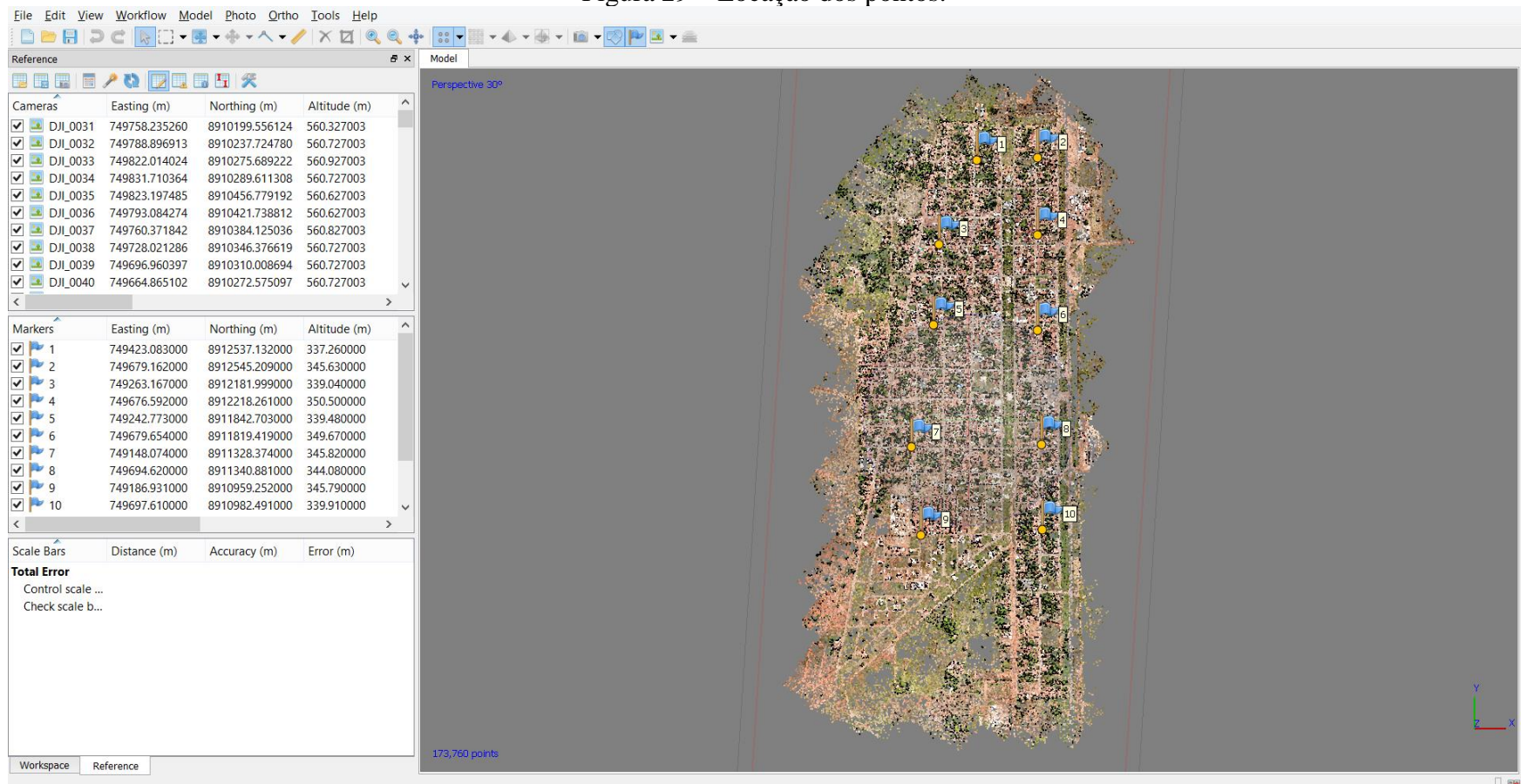
The screenshot displays the 'Import CSV' dialog box within a software application. The dialog is configured for the SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982) coordinate system. The rotation angles are set to Yaw, Pitch, Roll, and the threshold is 0.1. The delimiter is set to Semicolon. The columns are mapped as follows: Label (1), Accuracy (2), Rotation (3), Accuracy (4), Easting (5), North (6), Pitch (7), Accuracy (8), Roll (9), Accuracy (10), and Enabled flag (10). The 'Start import at row' is set to 2. A preview of the first 20 lines of the CSV file is shown below the dialog.

Label	Easting	Northing	Altitude
Nome	Leste	Norte	Altitude
1	749423.083	8912537.132	337.26
2	749679.162	8912545.209	345.63
3	749263.167	8912181.999	339.04
4	749676.592	8912218.261	350.50
5	749242.773	8911842.703	339.48
6	749679.654	8911819.419	349.67
7	749148.074	8911328.374	345.82
8	749694.620	8911340.881	344.08
9	749186.931	8910959.252	345.79
10	749697.610	8910982.491	339.91

Fonte: autor (2019).

Na tela de visualização, é possível observar a locação dos pontos, dos quais serão selecionados entre pontos de controle (GCP-n) e pontos de checagem (CP-n). Renomear os pontos de acordo a sua função é recomendado para dados organizados e de fácil identificação na tela de trabalho.

Figura 29 – Locação dos pontos.



Fonte: autor (2019).

Com os pontos renomeados para “CP-n” e “GCP-n”, inicia-se o processo de filtro das fotos em que pode-se observar os marcos feitos em solo (botão direito no ponto importado e “*filter photos by markers*”). Utilizando o GCP-01 como exemplo, nota-se que no primeiro alinhamento, o alvo estava a 1,14 metros das coordenadas corretas.

Figura 30 – Visualização do erro inicial.

The screenshot displays a photogrammetry software interface with several panels:

- Reference Panel:** A table listing ground control points with their coordinates and accuracy.
 

(m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Er
235260	8910199.556124	560.327003	10.000000	2.1
896913	8910237.724780	560.727003	10.000000	2.1
014024	8910275.689222	560.927003	10.000000	2.1
710364	8910289.611308	560.727003	10.000000	2.1
197485	8910456.779192	560.627003	10.000000	6.1
084274	8910421.738812	560.627003	10.000000	5.1
371842	8910384.125036	560.827003	10.000000	4.1
021286	8910346.376619	560.727003	10.000000	4.1
960397	8910310.008694	560.727003	10.000000	4.1
865102	8910272.575097	560.727003	10.000000	3.1
- Markers Panel:** A list of markers with their Easting, Northing, and Altitude coordinates.
 

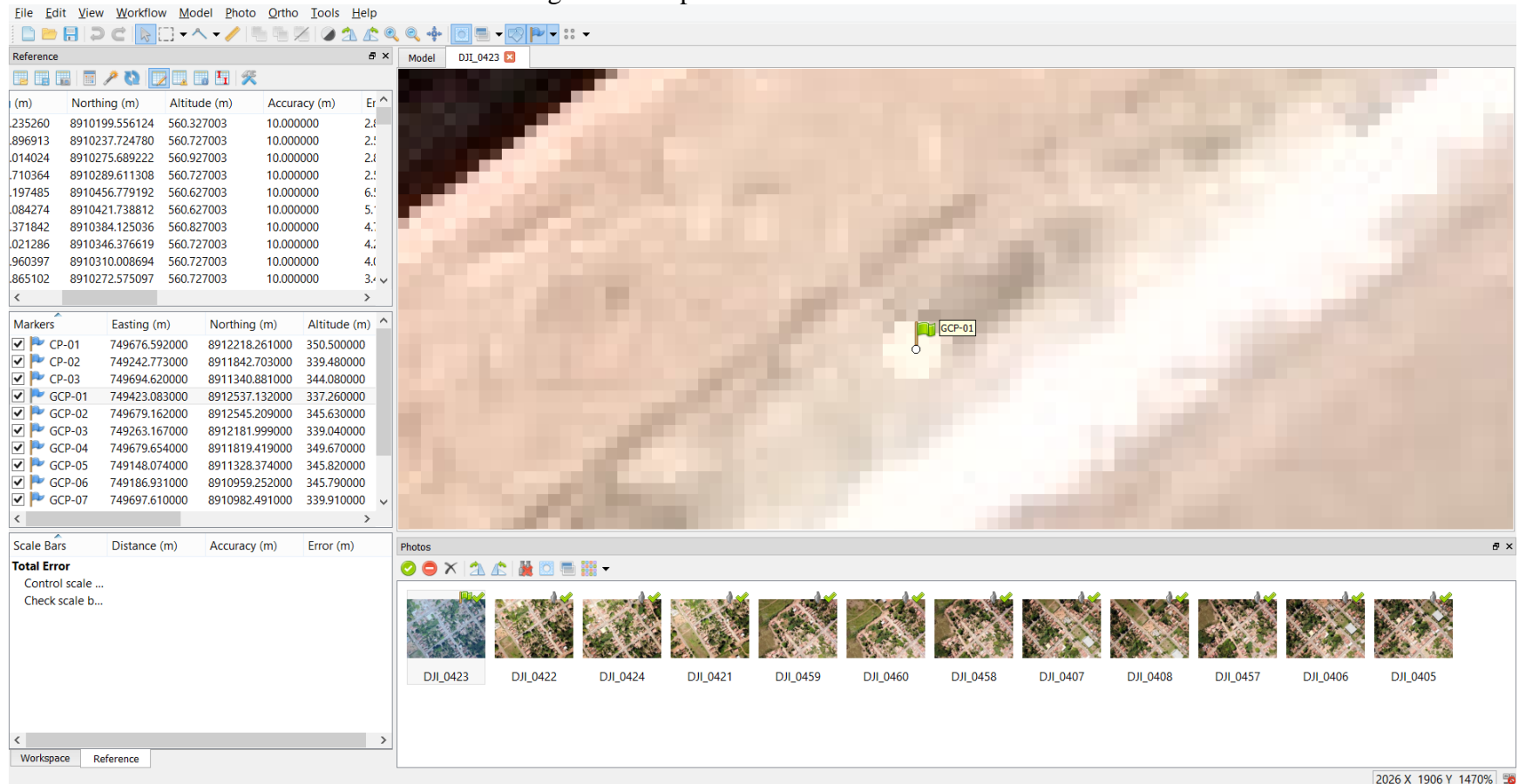
Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> CP-01	749676.592000	8912218.261000	350.500000
<input checked="" type="checkbox"/> CP-02	749242.773000	8911842.703000	339.480000
<input checked="" type="checkbox"/> CP-03	749694.620000	8911340.881000	344.080000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-01	749423.083000	8912537.132000	337.260000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-02	749679.162000	8912545.209000	345.630000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-03	749263.167000	8912181.999000	339.040000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-04	749679.654000	8911819.419000	349.670000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-05	749148.074000	8911328.374000	345.820000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-06	749186.931000	8910959.252000	345.790000
<input checked="" type="checkbox"/> GCP-07	749697.610000	8910982.491000	339.910000
- Scale Bars Panel:** Shows 'Total Error' and options for 'Control scale ...' and 'Check scale b...'.
 

Scale Bars	Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
<b>Total Error</b>			
Control scale ...			
Check scale b...			
- Photos Panel:** A grid of photo thumbnails labeled from DJI\_0423 to DJI\_0405. The first photo, DJI\_0423, is highlighted with a green checkmark and a 1.14m error measurement.

Fonte: autor (2019).

Para a correção da posição, deve-se arrastar o marcador (bandeira) para o centro dos alvos feitos em campo. O processo se repete para todos os marcadores. O presente trabalho utilizou 10 alvos, conseqüentemente, 10 marcadores.

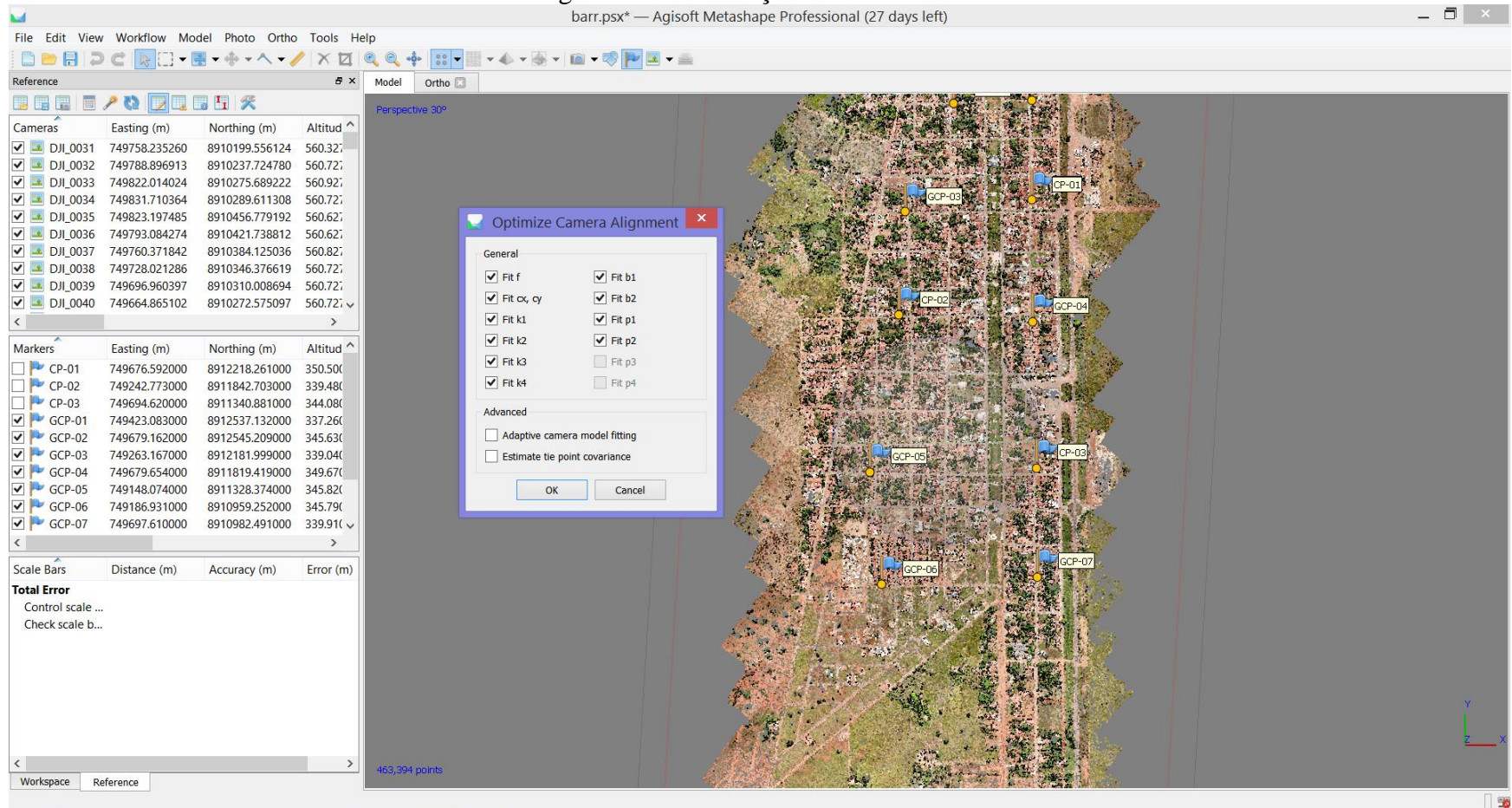
Figura 31 – Apontamento dos marcadores.



Fonte: autor (2019).

Após o correto apontamento dos marcadores nas imagens, desmarca-se os CP na aba lateral com a finalidade destes não entrarem no processo de retificação do projeto, que é feito com a ferramenta “*Optimize Camera Alignment*”.

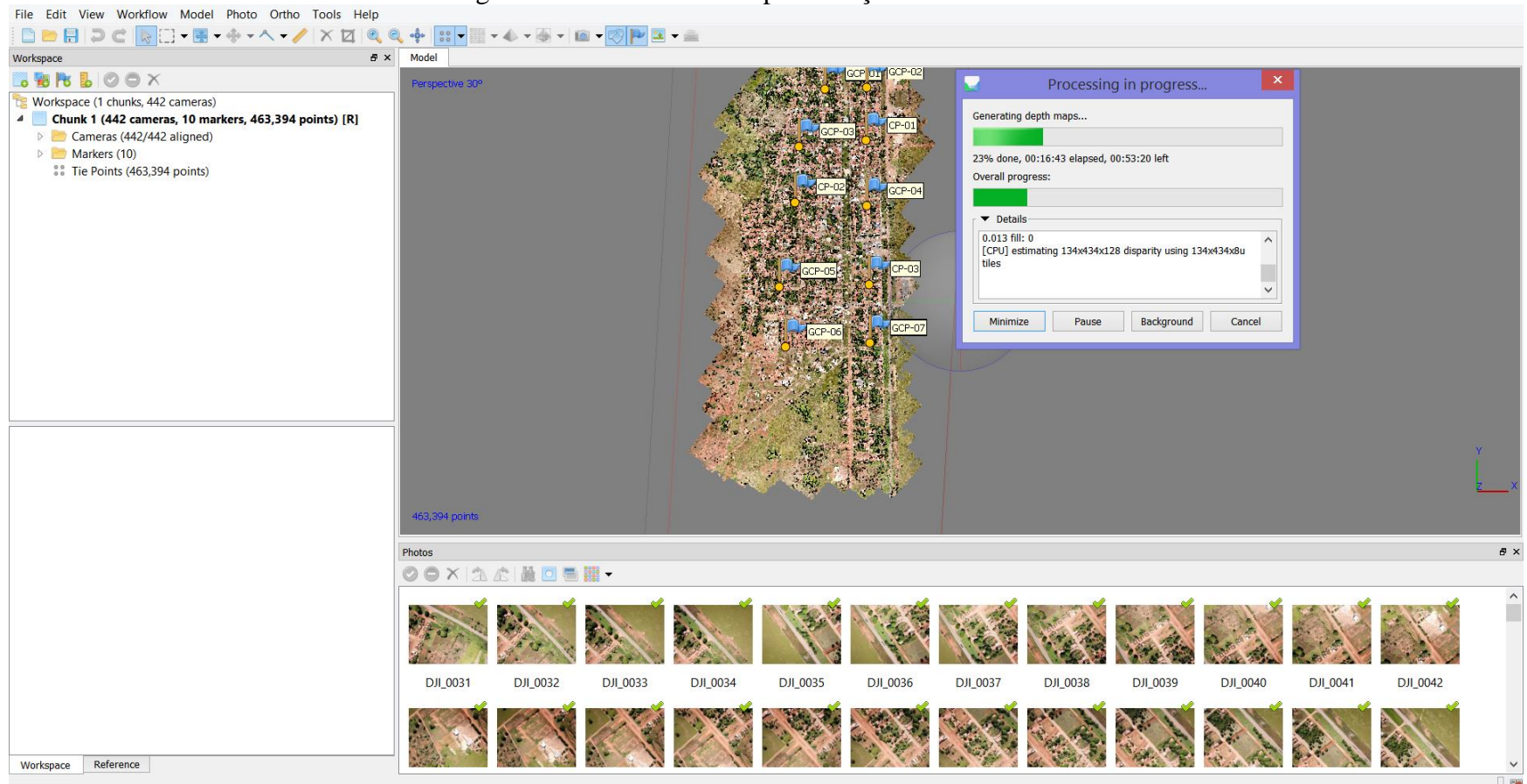
Figura 32 – Otimização do alinhamento.



Fonte: autor (2019).

O próximo passo se refere a criação da nuvem de pontos densa (*dense cloud*), conforme o fluxo de trabalho do programa.

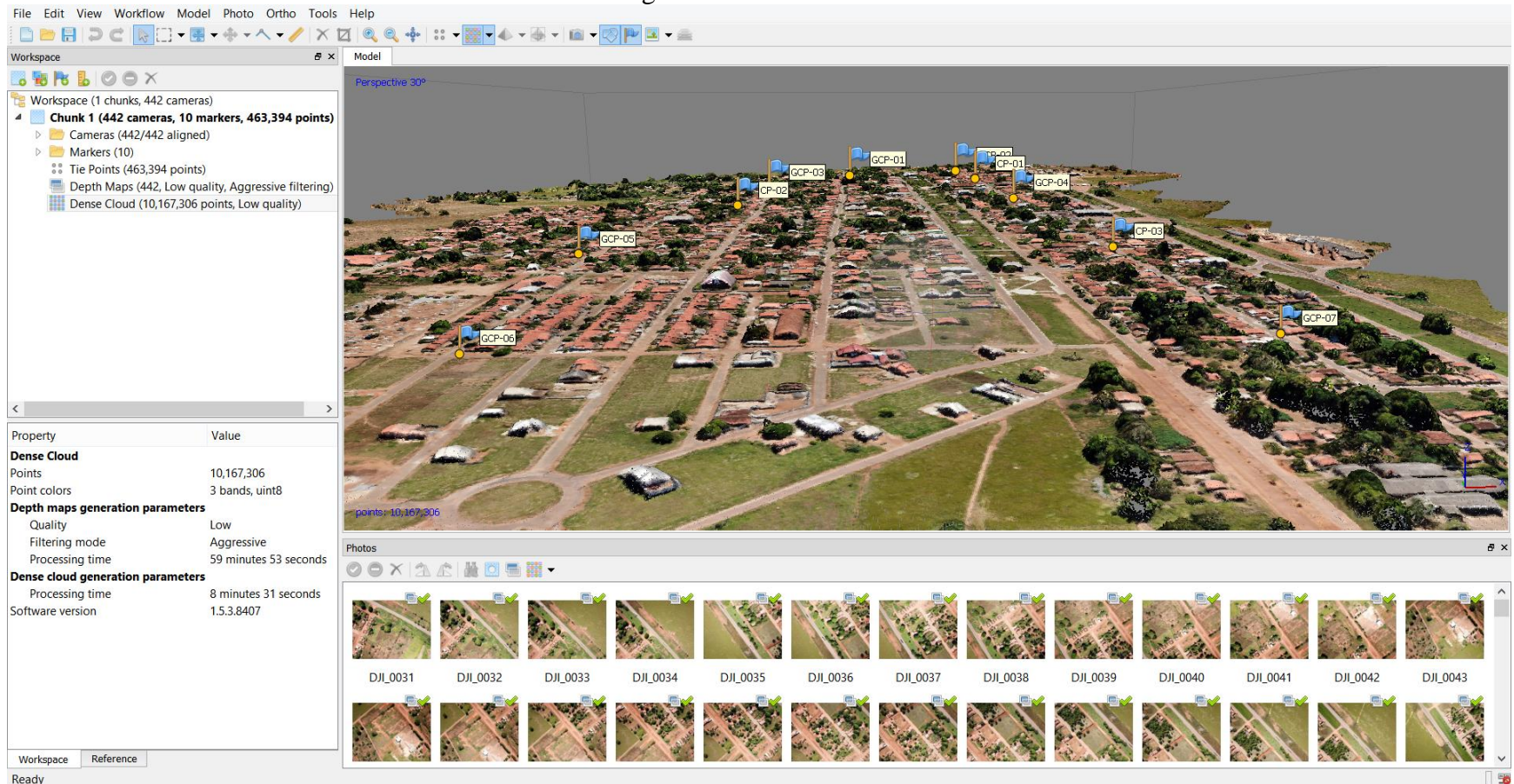
Figura 33 – Processamento para criação da *dense cloud*.



Fonte: autor (2019).

Com a nuvem formada, observa-se a qualidade do modelo feito com mais de 10 milhões de pontos, na ocasião.

Figura 34 – *Dense cloud*.

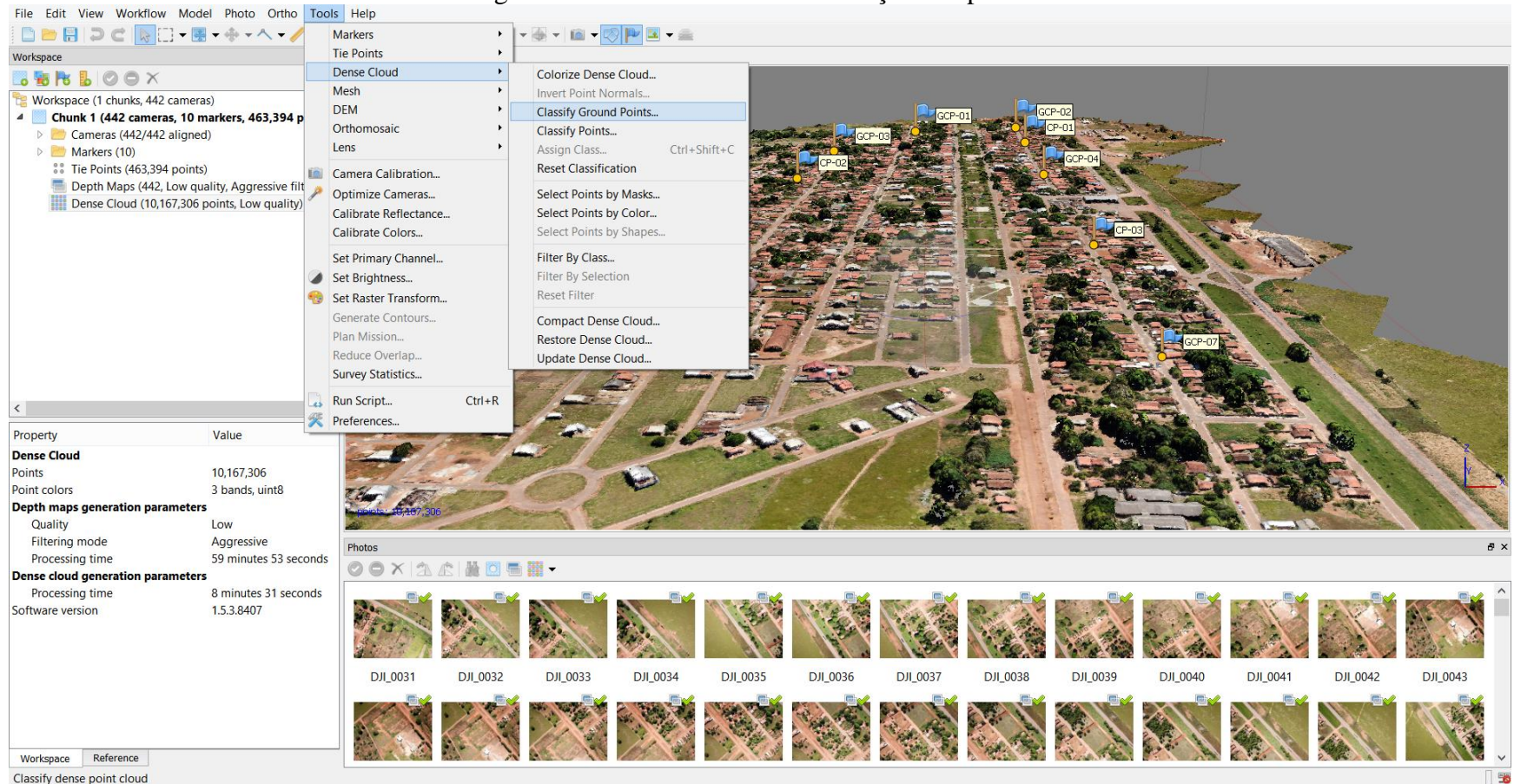


Fonte: autor (2019).



A nuvem densa é formada por todos os pontos da imagem, inclusive aqueles que estão acima do solo e não são pertinentes para a criação do modelo digital de terreno – MDT. Para tal, é feita a classificação dos pontos, de forma que se obtenha apenas pontos do terreno.

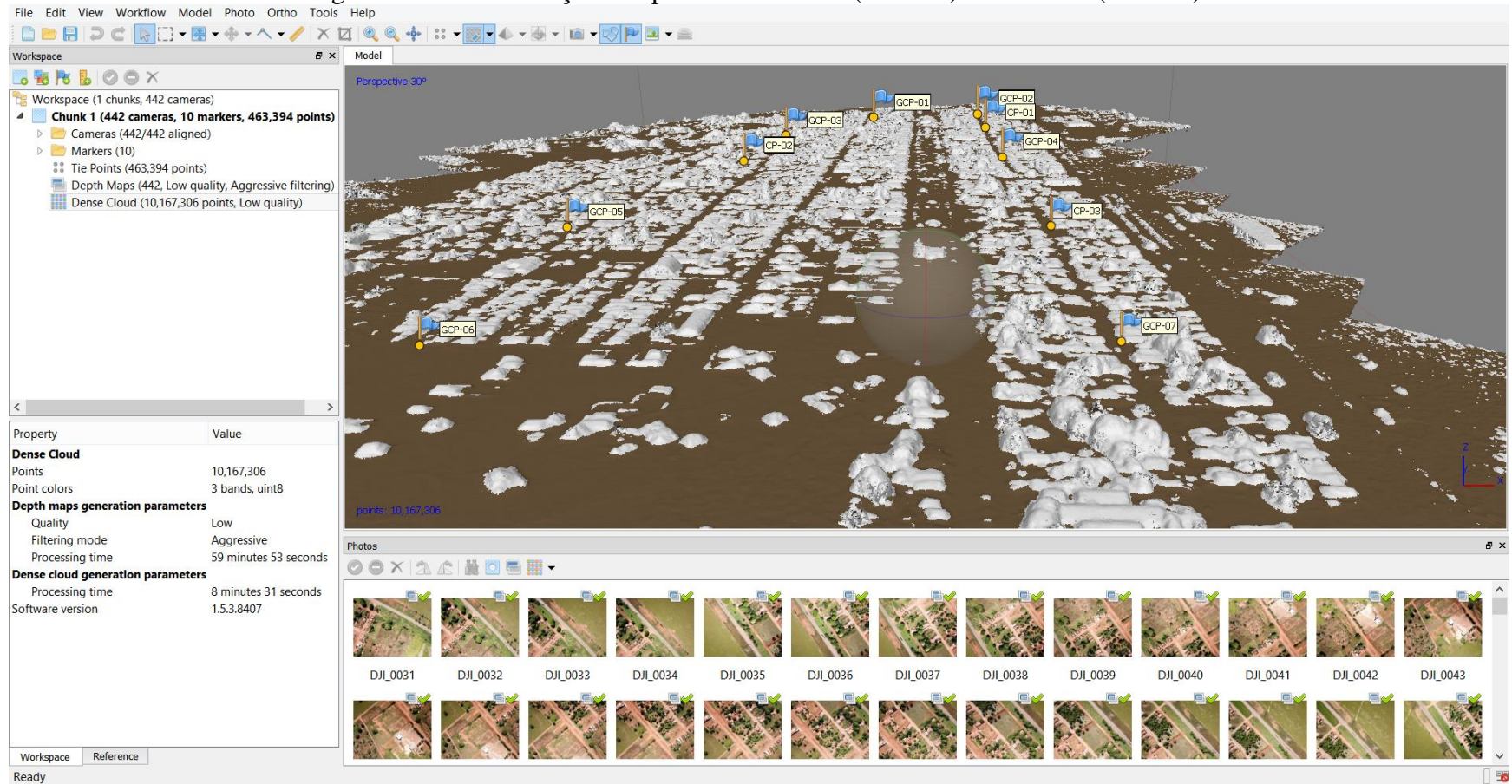
Figura 35 – Ferramenta de classificação dos pontos.



Fonte: autor (2019).

Após a classificação, o que está acima do terreno é representado pela cor branca e o solo, na cor marrom.

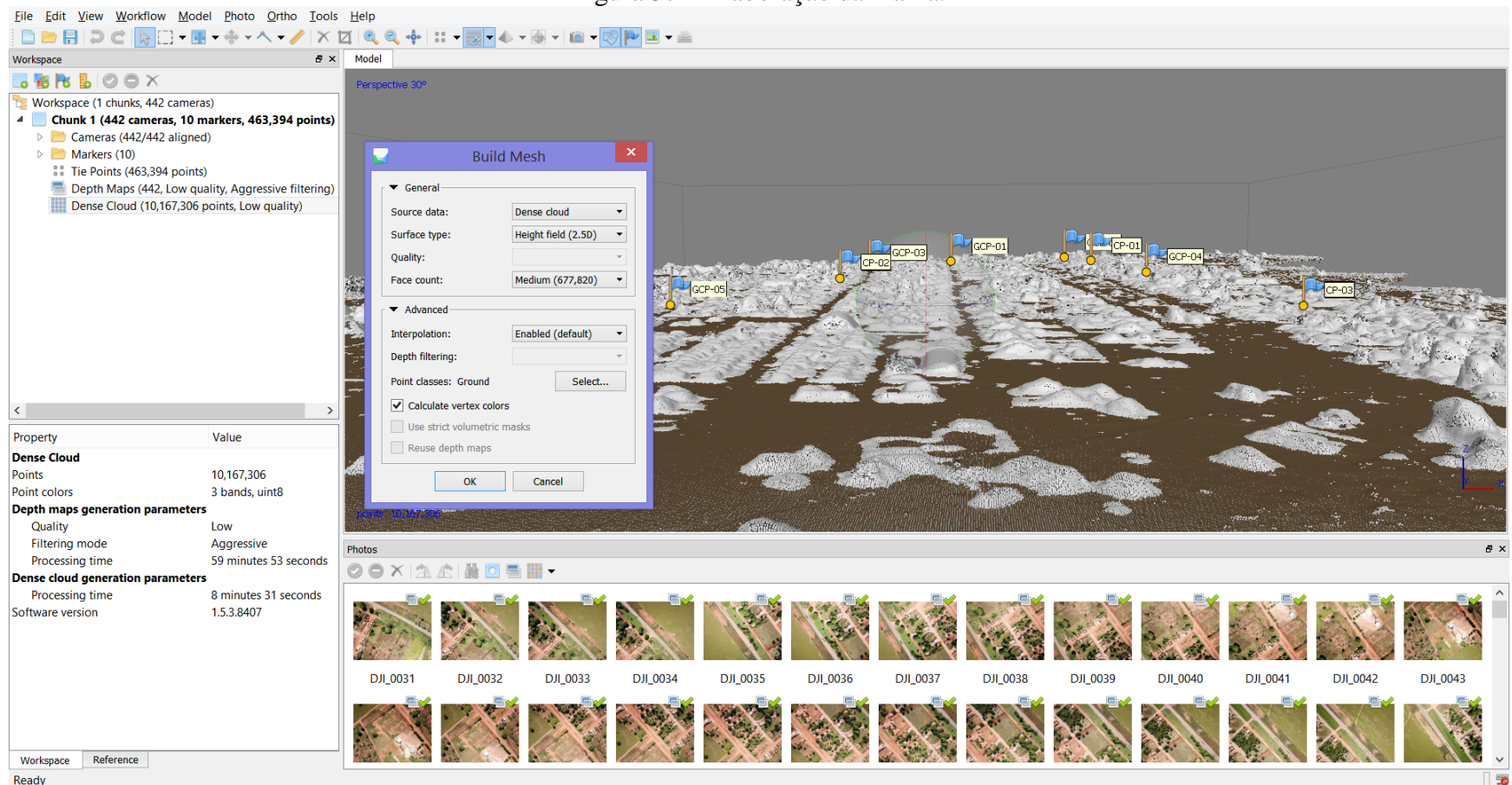
Figura 36 – Diferenciação dos pontos do terreno (marrom) dos demais (brancos).



Fonte: autor (2019).

Esta etapa do trabalho consiste na elaboração da malha. Para tanto, seleciona-se a nuvem de pontos como base, utilizando o parâmetro 2,5D que se refere ao campo de alturas. Uma seleção importante é a de “*Point classes*”, visto que deve-se utilizar apenas os pontos classificados como terreno (*ground*).

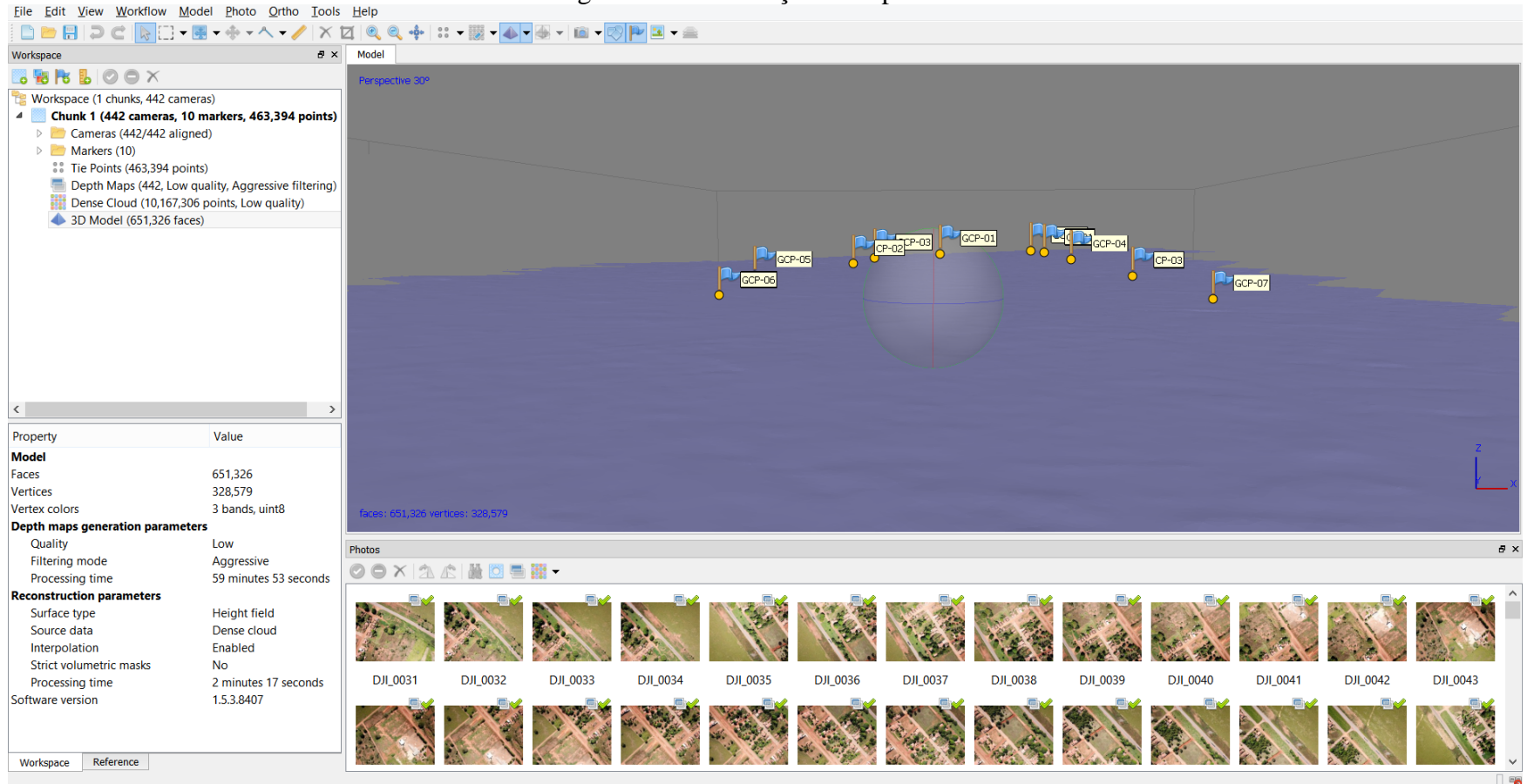
Figura 37 – Elaboração da malha.



Fonte: autor (2019).

Após a malha ter sido finalizada, faz-se a suavização da superfície (*tools>mesh>smooth mesh*) para melhor visualização e uniformidade no trabalho.

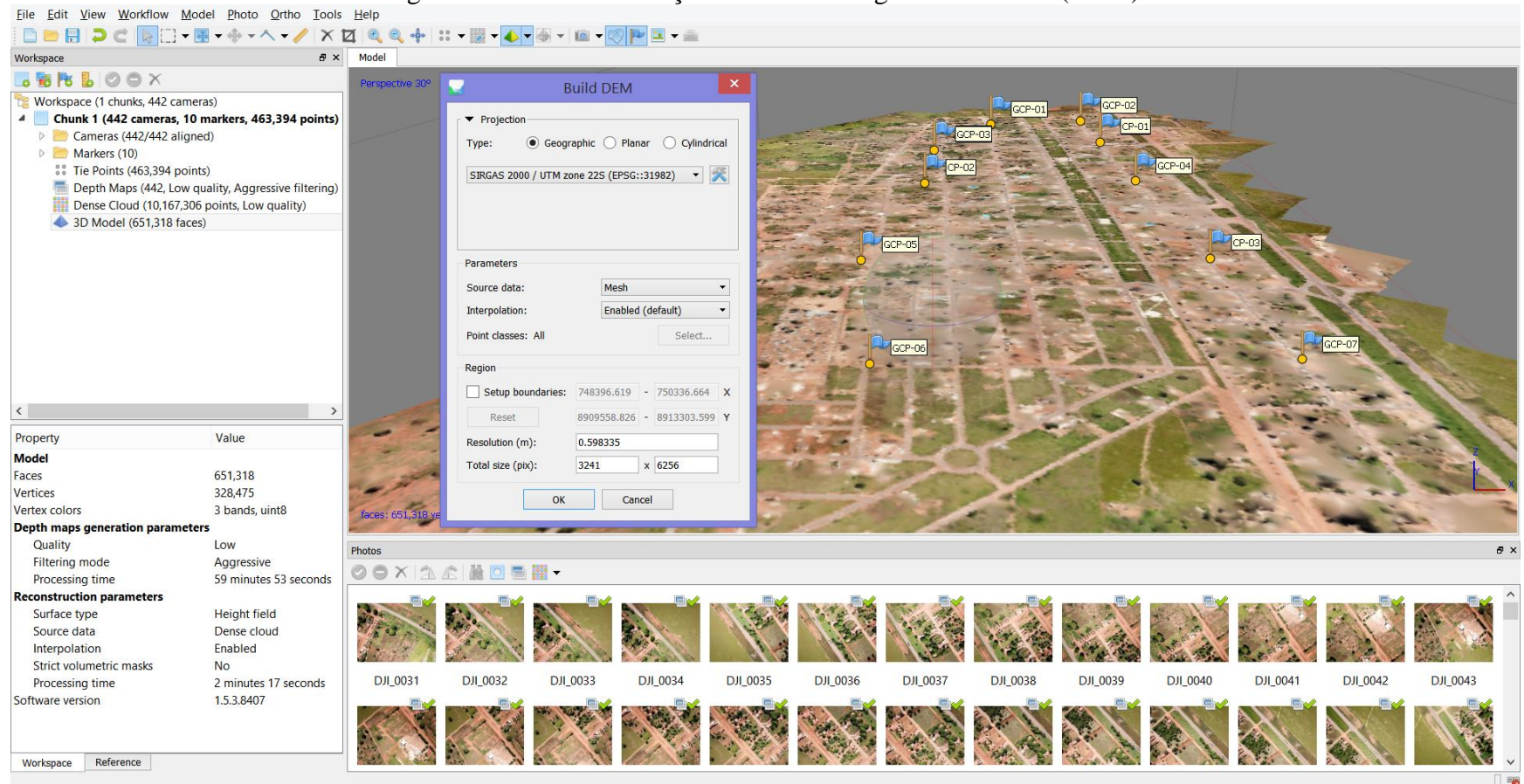
Figura 38 – Suavização da superfície.



Fonte: autor (2019).

A penúltima etapa do fluxo de trabalho se refere à criação do modelo digital de terreno (MDT) (no caso, terreno, devido a filtragem dos pontos). A base de construção será a malha e os demais parâmetros seguem o padrão.

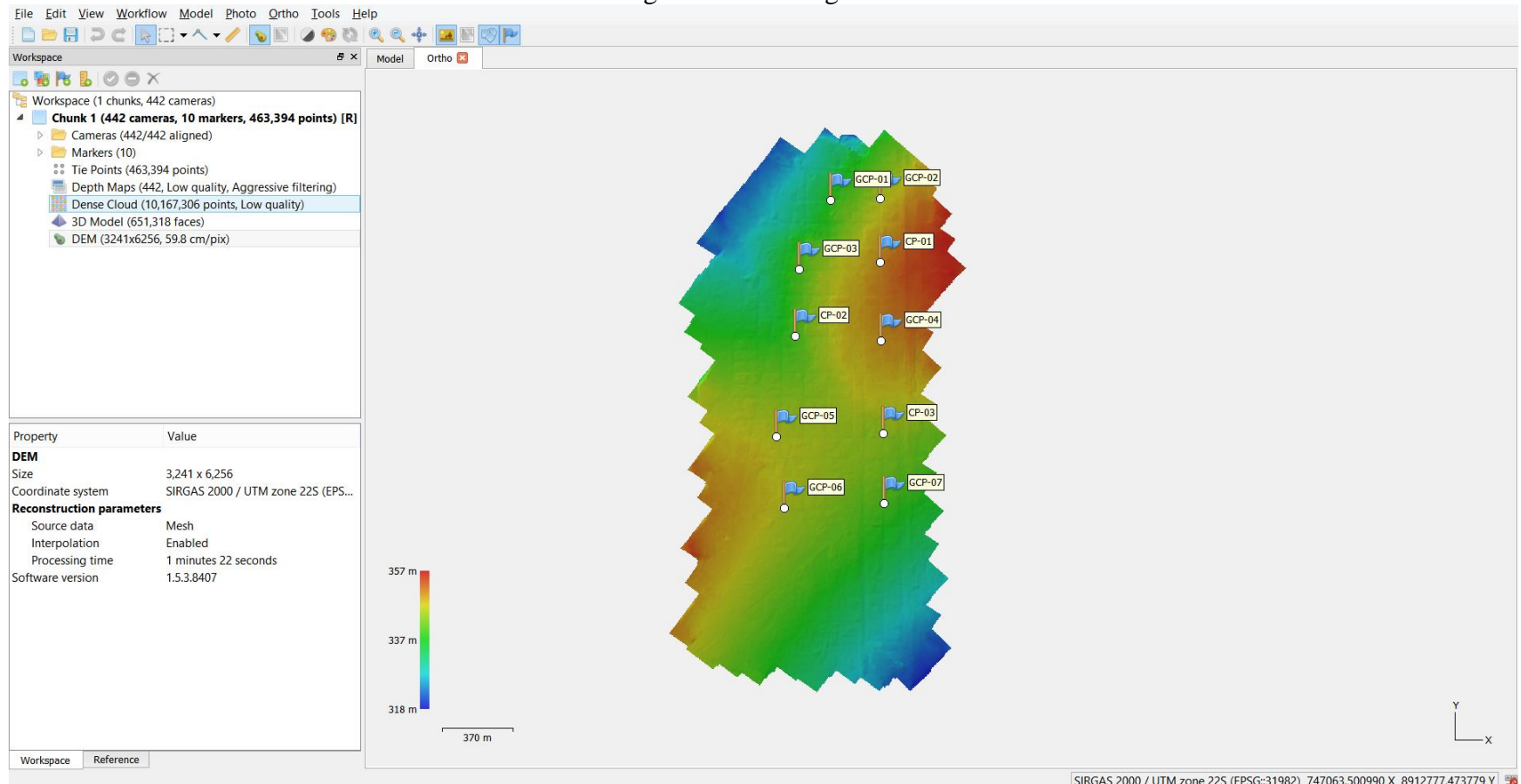
Figura 39 – Janela de criação do Modelo Digital de Terreno (MDT).



Fonte: autor (2019).

Resultado final do MDT, com classificação de cores em referência a altitude do local. Pode-se exportar o modelo em formato TIFF para utilização em softwares de SIG. (*file>export>export DEM*).

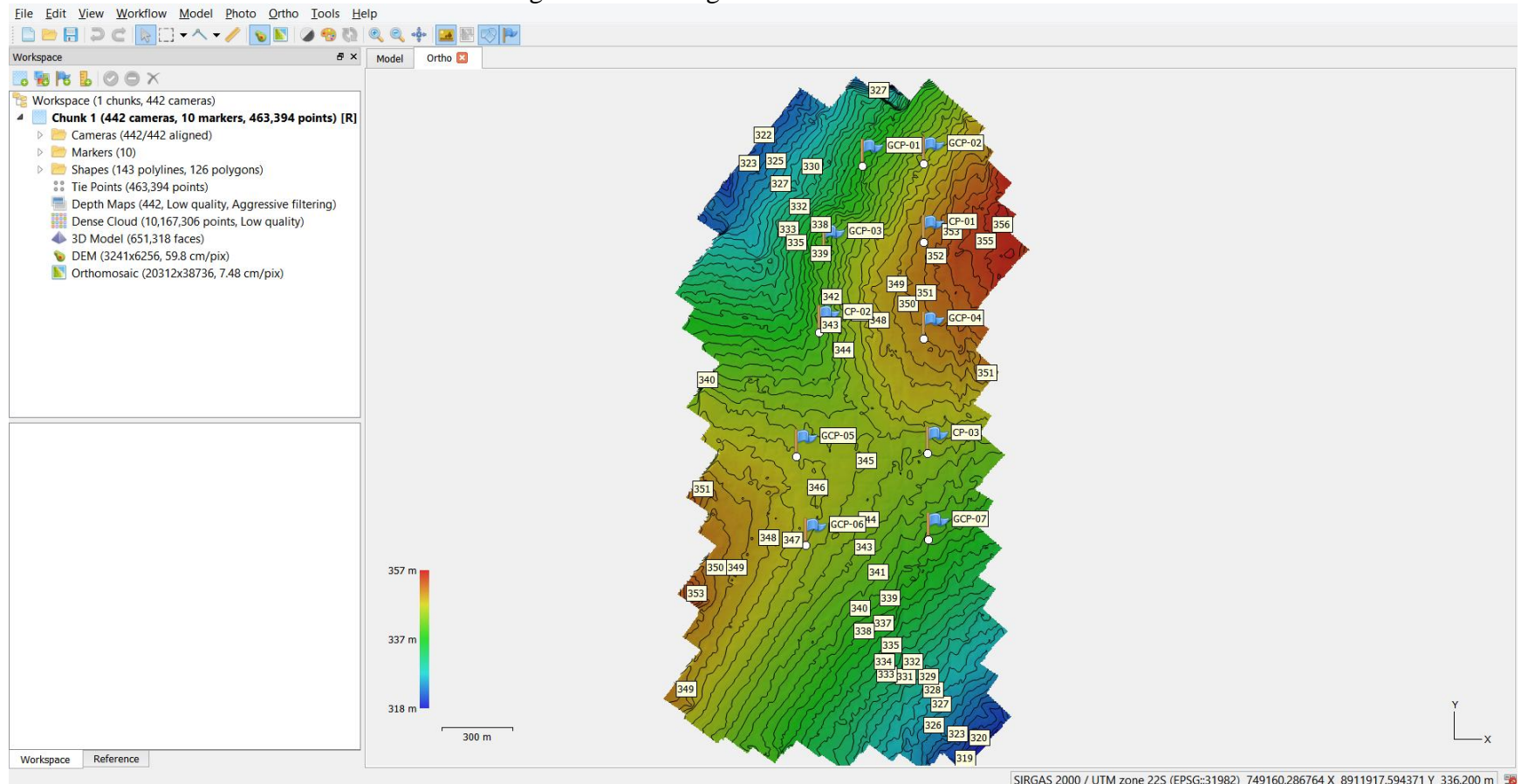
Figura 40 – MDT gerado.



Fonte: autor (2019).

Em “*tools>generate contours*”, pode-se obter curvas de nível com o espaçamento requerido a partir do MDT. Posteriormente, pode-se utilizar softwares SIG para suavização das curvas para melhor apresentação.

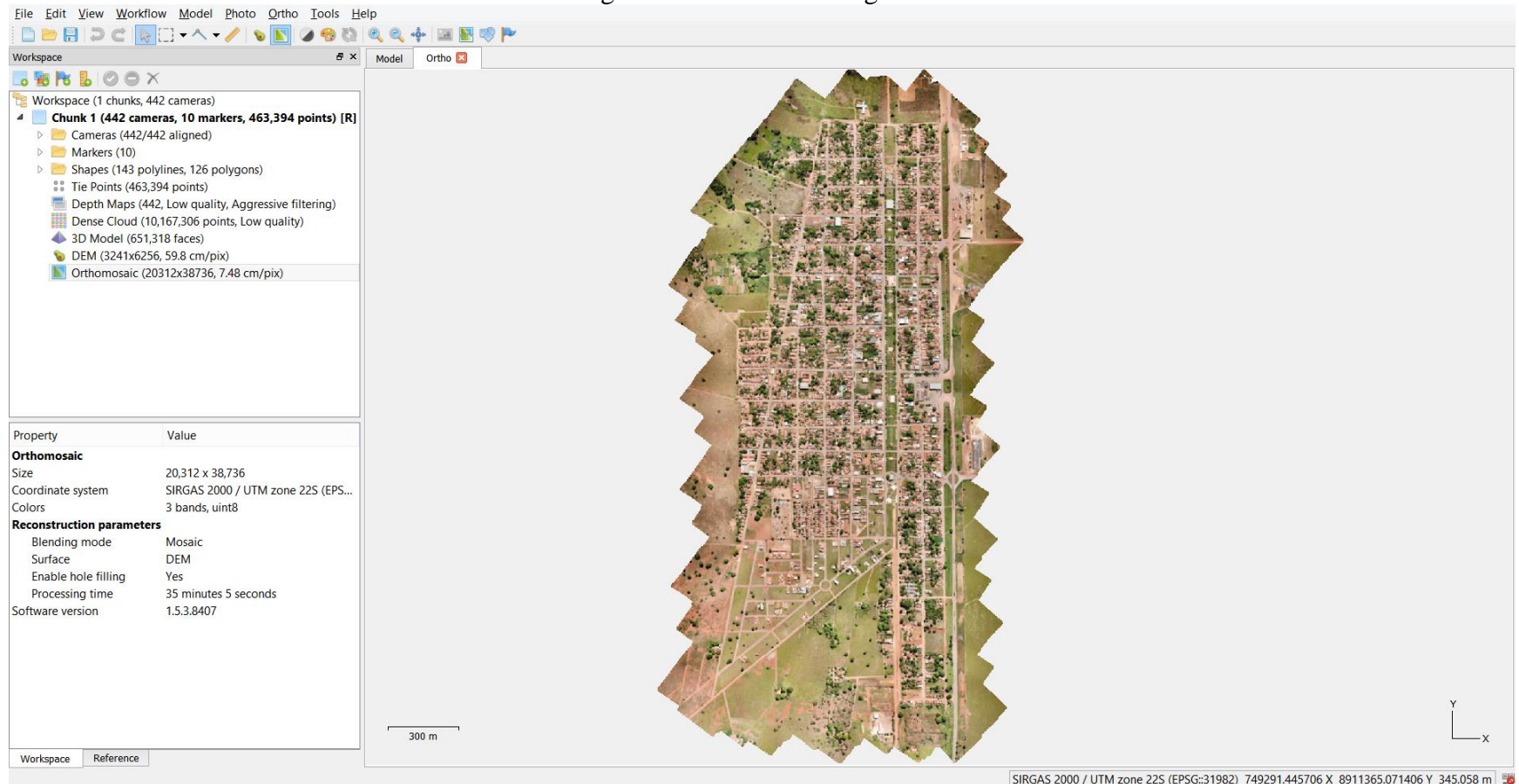
Figura 41 - MDT gerado com curvas de nível.



Fonte: autor (2019).

A última etapa do processamento das imagens consiste na criação do ortomosaico “*workflow > build orthomosaic*”. Este pode ser exportado em “*file > export > export orthomosaic*”.

Figura 42 – Ortomosaico gerado.

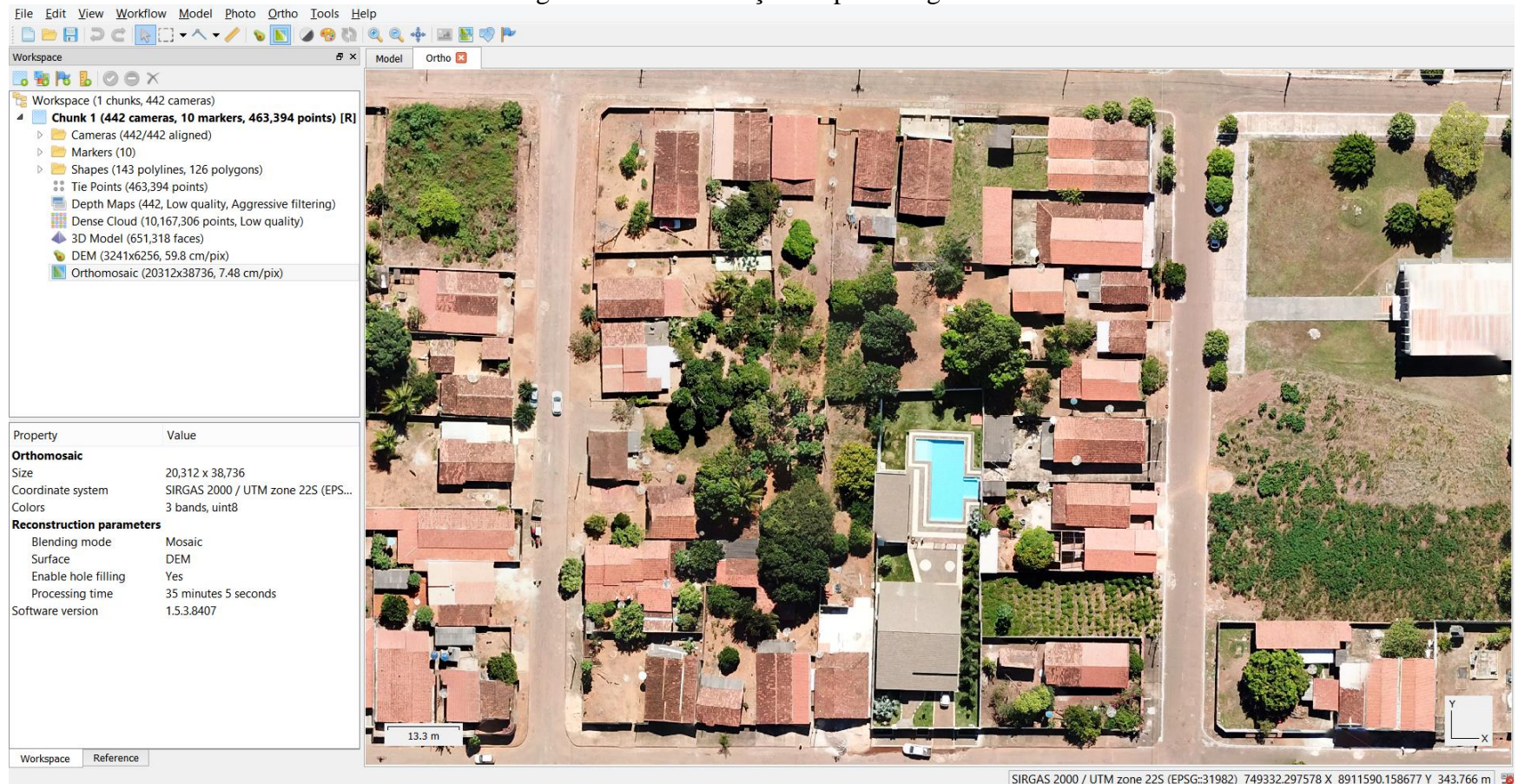


Fonte: autor (2019).



Com o objetivo de garantir a confiabilidade dos produtos gerados, é indicado realizar a aferição da qualidade, bem como a constatação de que não há distorções.

Figura 43 – Visualização do produto gerado.



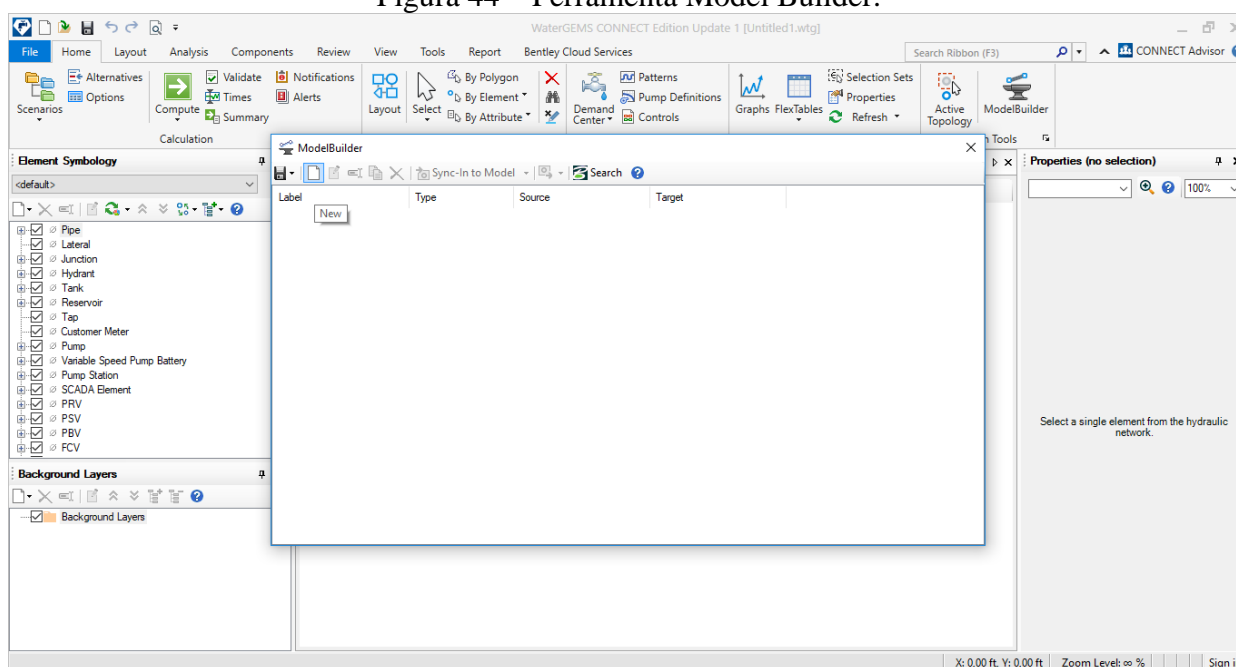
Fonte: autor (2019).

## APÊNDICE B – ROTEIRO DE CRIAÇÃO DE MODELO HIDRÁULICO

A construção do modelo hidráulico foi realizada utilizando o software WaterGEMS da Bentley Systems. Como *input*, foram utilizados os dados referentes a rede de abastecimento, ventosas, registros, reservatório e consumo micromedido médio dos últimos 12 meses com Índice de Perdas por Ligação (IPL), todos em formato *shapefile*, cedidos pela empresa BRK Ambiental.

Para iniciar construção do modelo, utiliza-se a ferramenta “Model Builder” e cria-se um novo arquivo.

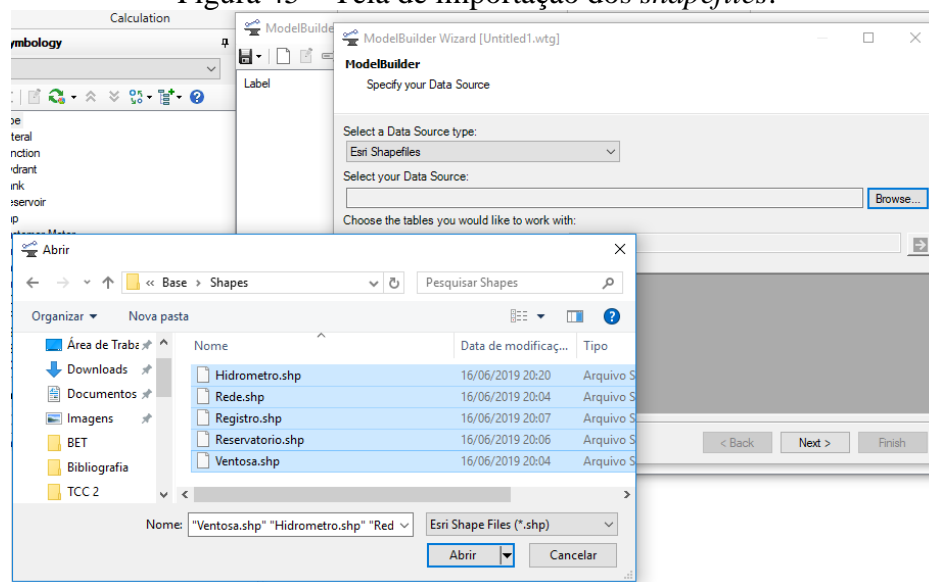
Figura 44 – Ferramenta Model Builder.



Fonte: autor (2019).

Em um primeiro momento, é necessário selecionar o tipo dos arquivos de entrada. Desta maneira, selecionam-se os *shapefiles* correspondentes aos hidrômetros (que representam o volume micromedido médio com IPL), redes, registros, reservatório e ventosas.

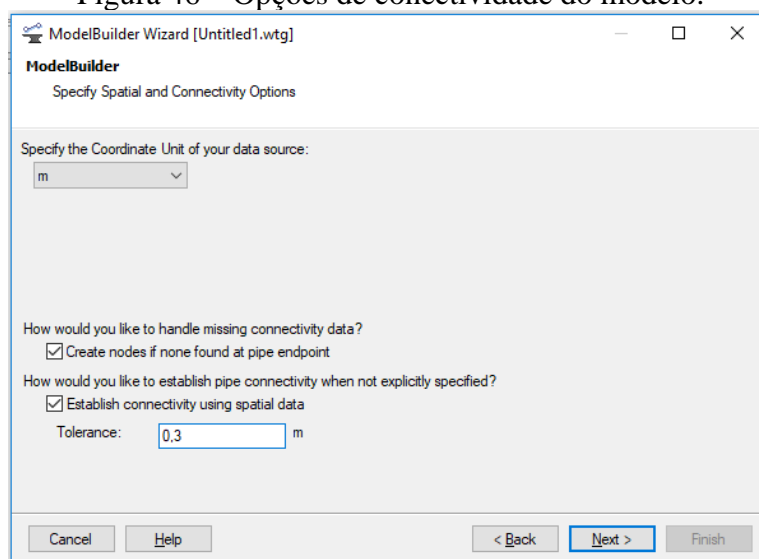
Figura 45 – Tela de importação dos *shapefiles*.



Fonte: autor (2019).

Na próxima janela, insere-se a unidade de coordenadas dos *shapefiles*, bem como ativa-se a função de estabelecer uma relação entre peças com base na proximidade entre elas.

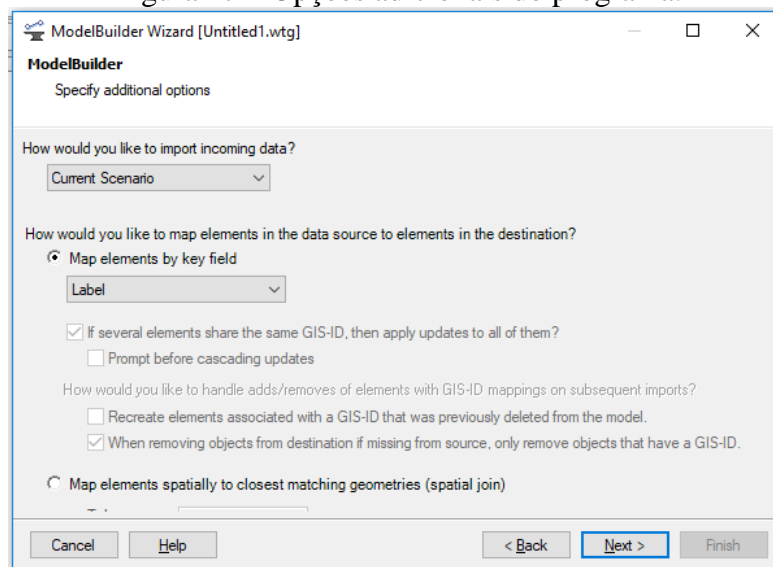
Figura 46 – Opções de conectividade do modelo.



Fonte: autor (2019).

Na seguinte etapa, utiliza-se o padrão do software.

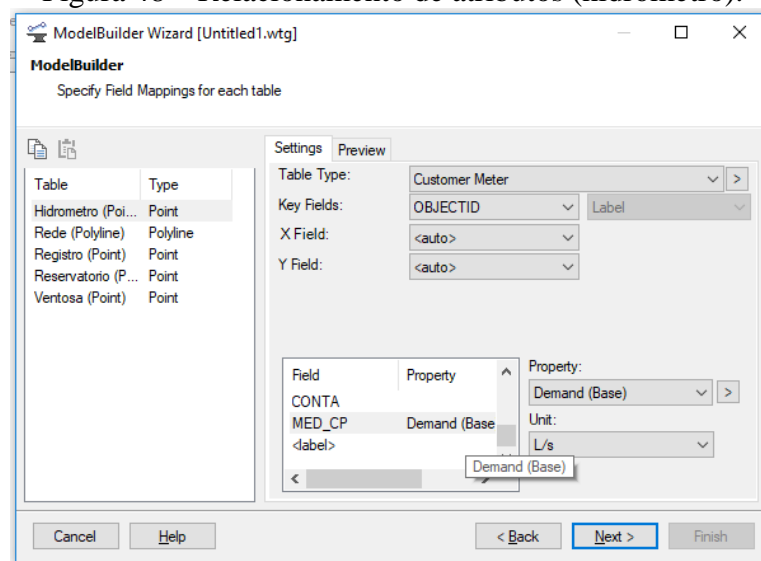
Figura 47 – Opções adicionais do programa.



Fonte: autor (2019).

O seguinte passo consiste em relacionar os atributos dos *shapefiles* aos parâmetros do programa. Realizou-se a ligação entre utilização de água (*demand base*) com a média do volume micromedido médio, acrescido das perdas por ligação. Este valor está em L/s.

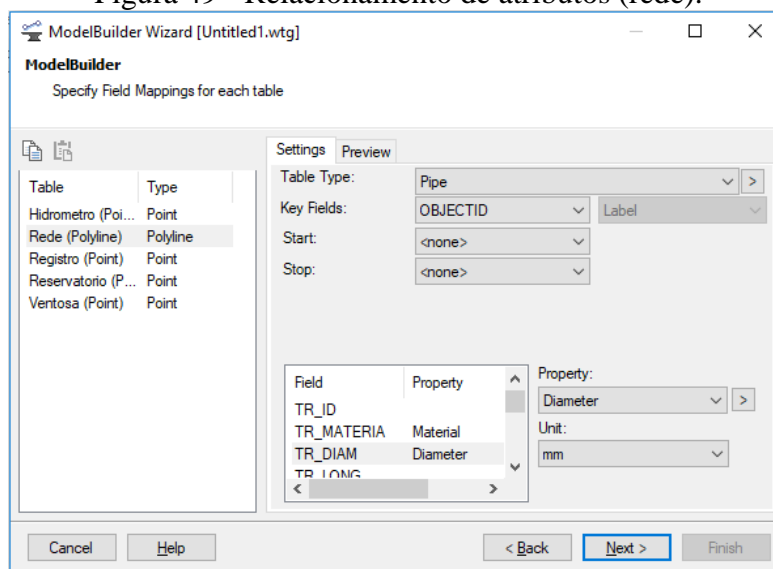
Figura 48 – Relacionamento de atributos (hidrômetro).



Fonte: autor (2019).

Da mesma maneira ocorre com os dados de rede, onde as propriedades de material e diâmetro são relacionadas, bem como as unidades de cada.

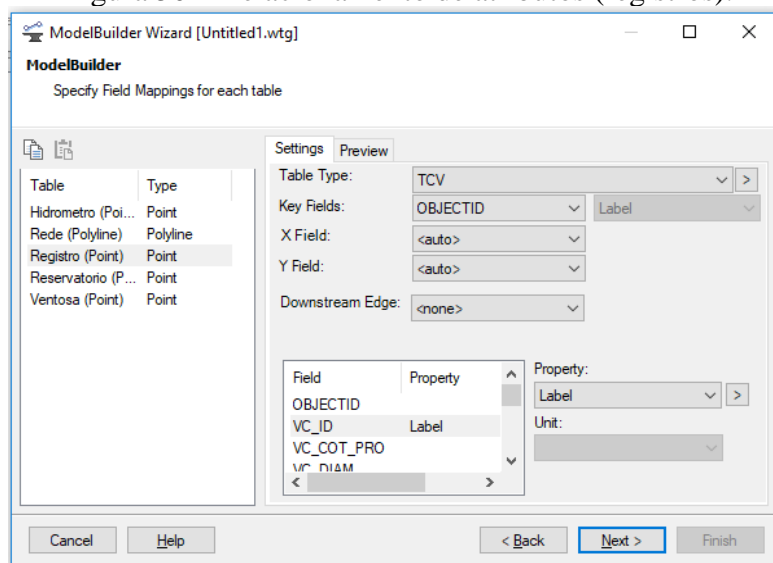
Figura 49 - Relacionamento de atributos (rede).



Fonte: autor (2019).

Acerca dos registros, a única informação concatenada, é a de nome, pois apenas com o modelo criado é possível definir sobre o seu status (aberto ou fechado).

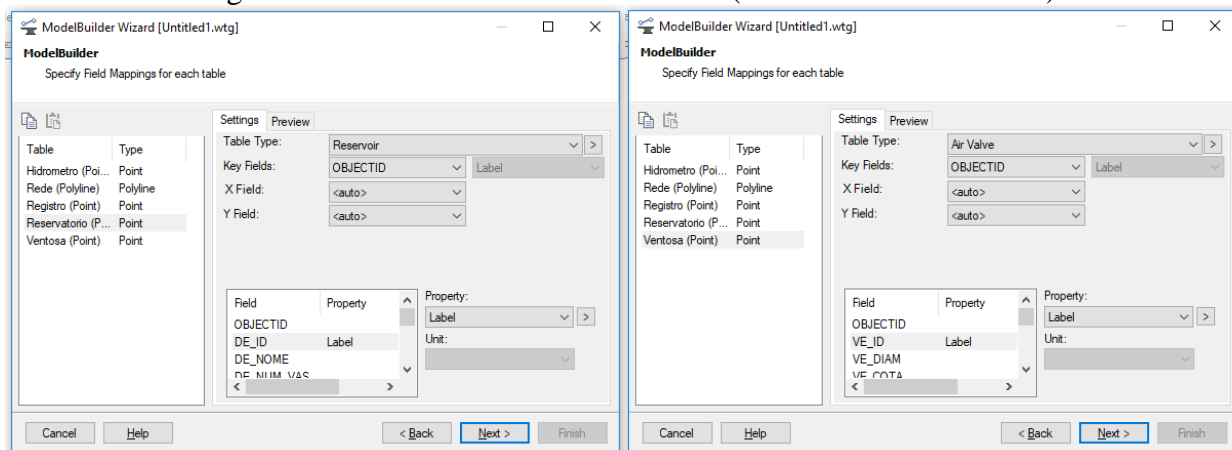
Figura 50 – Relacionamento de atributos (registros).



Fonte: autor (2019).

De maneira análoga, se faz com os reservatórios e ventosas.

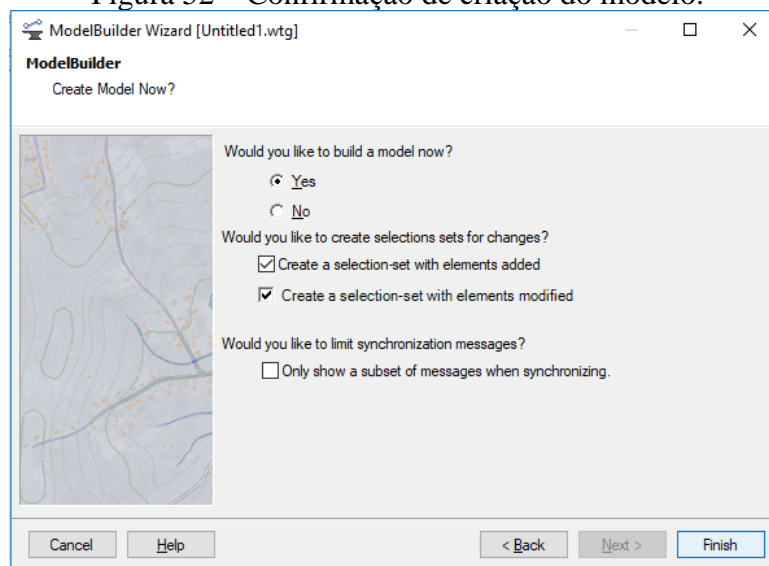
Figura 51 – Relacionamento de atributos (ventosas e reservatórios).



Fonte: autor (2019).

Na próxima janela há a confirmação da criação do modelo.

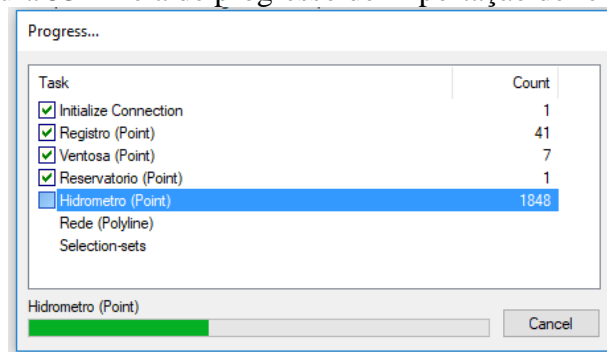
Figura 52 – Confirmação de criação do modelo.



Fonte: autor (2019).

É apresentada a tela de progresso da criação, com o número de feições importadas.

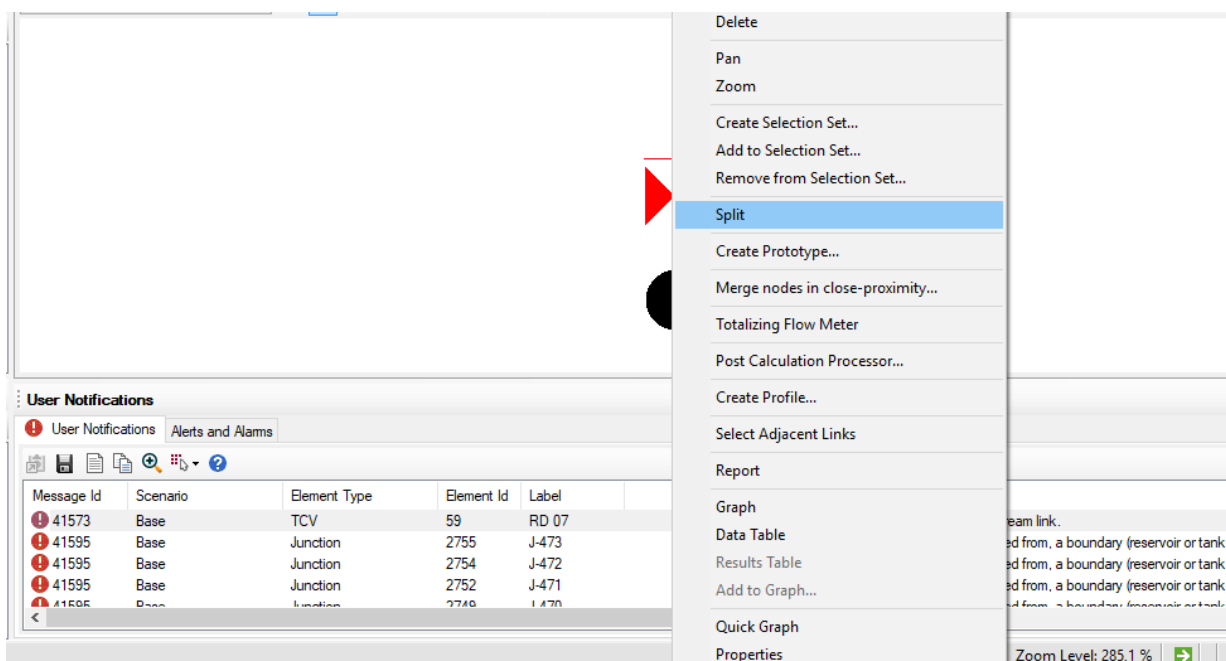
Figura 53 – Tela de progresso de importação de feições.



Fonte: autor (2019).

Após a criação do modelo, ocorrem alguns erros durante a validação. A causa disso se refere principalmente por elementos hidráulicos que não ficaram conectados à rede. A solução consiste em clicar com o botão direito sobre a peça e depois em “*split*” para reconectar o elemento.

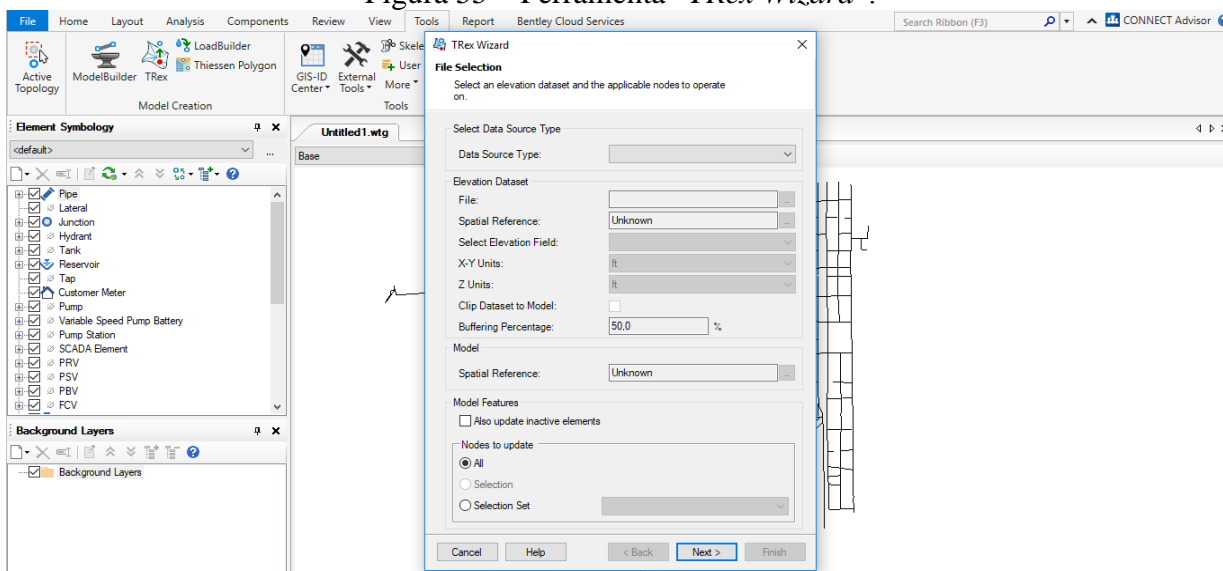
Figura 54 – Ferramenta “*Split*”.



Fonte: autor (2019).

Agora, todos os shapes foram importados, necessitando acrescentar informações referentes à topografia. Neste sentido, na aba “tools”, seleciona-se a opção “*TRex Wizard*”.

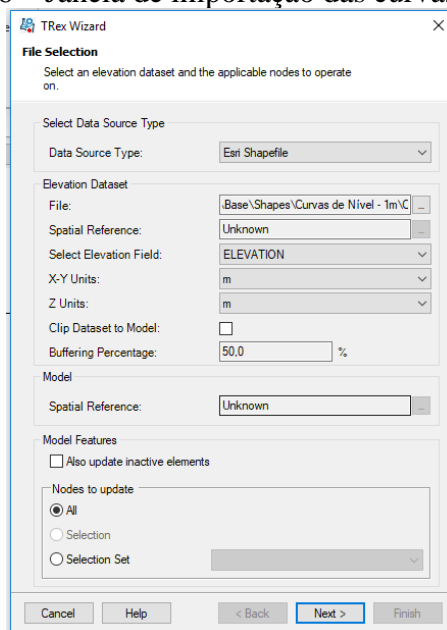
Figura 55 – Ferramenta “*TRex Wizard*”.



Fonte: autor (2019).

A fonte de dados será uma camada vetorial (*shapefile*) das curvas de nível, que possuem informação de cota no campo “ELEVATION”.

Figura 56 – Janela de importação das curvas de nível.

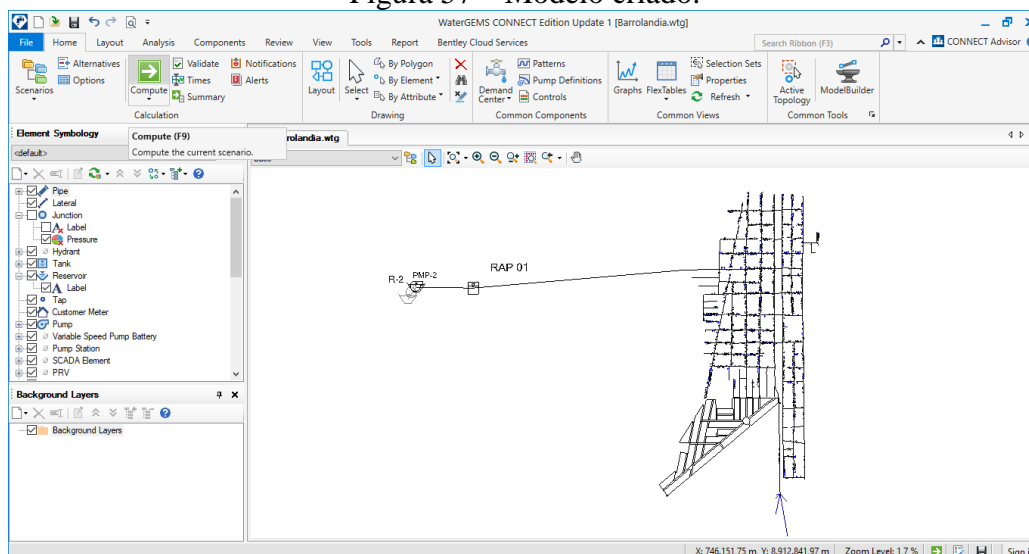


Fonte: autor (2019).



É necessário inserir uma fonte de captação de água, então liga-se um “reservoir” ao reservatório. Finalizado todo o processo de criação, deve-se clicar na opção “compute”, para que o software inicie o processamento e ajustes necessários para validação do modelo.

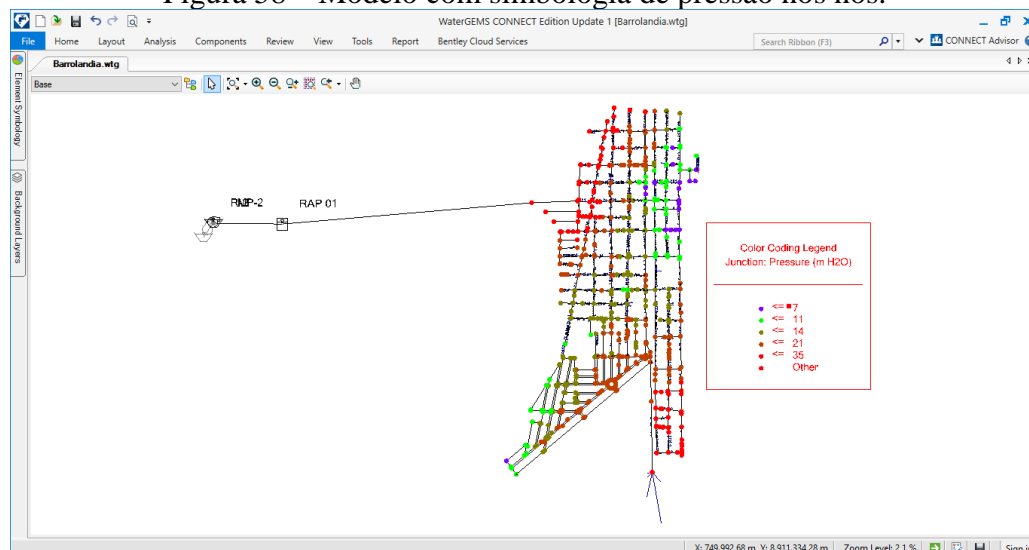
Figura 57 – Modelo criado.



Fonte: autor (2019).

Por fim, utilizando a simbologia de pressão nos nós, é possível observar quais os pontos sofrem desabastecimento e quais existem sobrepressões, que podem ocasionar um maior índice de perdas no sistema.

Figura 58 – Modelo com simbologia de pressão nos nós.



Fonte: autor (2019).

## ANEXO I

## RELATÓRIO DE PÓS PROCESSAMENTO DE DADOS (IBGE – PPP)



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

## Sumário do Processamento do marco: 1

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 10:22:50,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 11:00:50,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:<sup>1</sup></b>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	0,120
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	2,73 GPS 3,98 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,08 GPS 1,25 GLONASS

## Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 49' 48,0220"	-48° 43' 33,1942"	337,26	8912537.132	749423.083	-51
<b>Na data do levantamento<sup>5</sup></b>	-9° 49' 48,0146"	-48° 43' 33,1964"	337,26	8912537.359	749423.017	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,015	0,066	0,061			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,47					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	355,73					

## Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCan).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

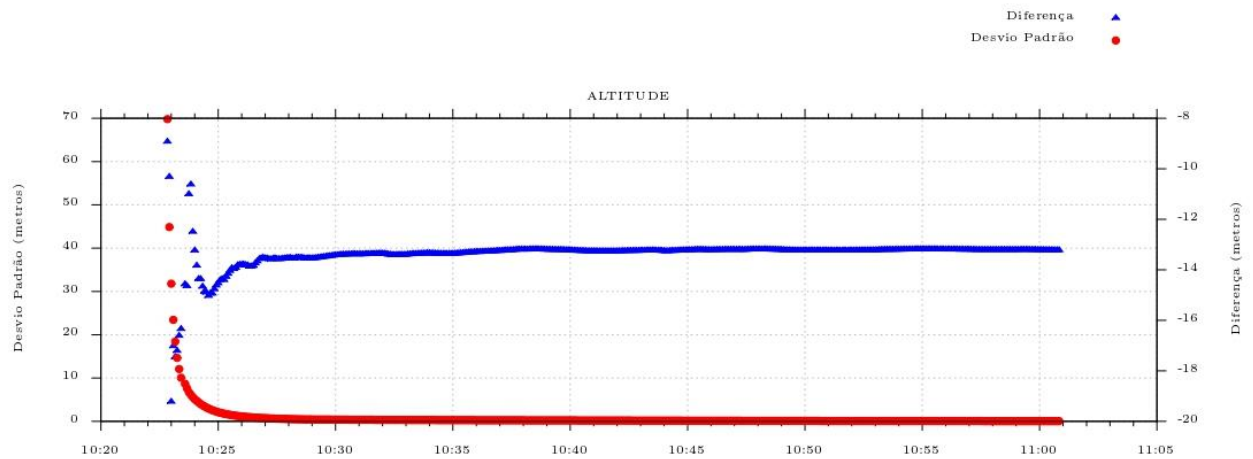
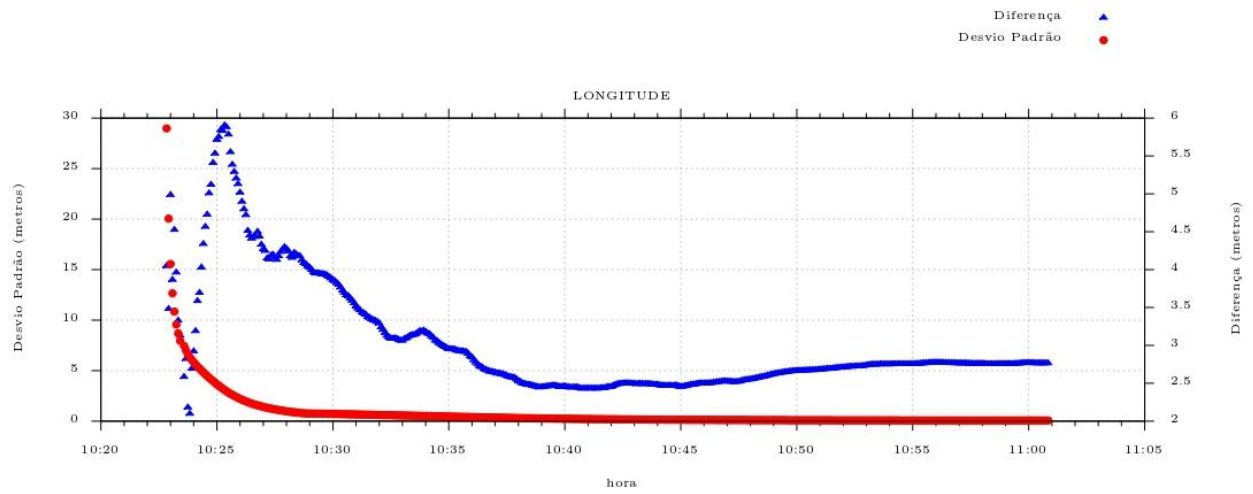
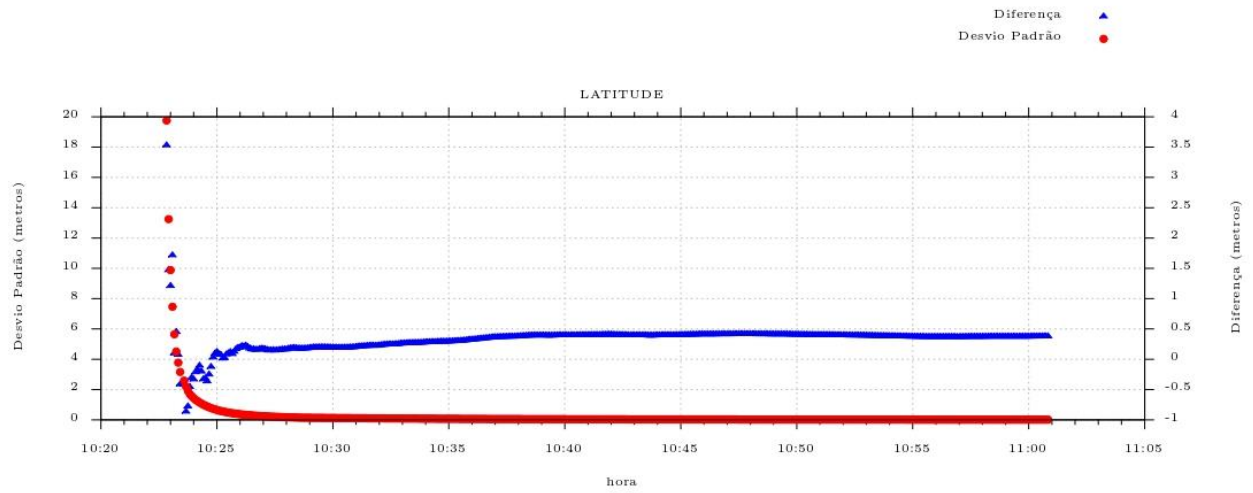
<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan).

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
1\_1560.19o





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 2

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 10:04:45,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 10:37:20,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:<sup>1</sup></b>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,140
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	1,88 GPS 2,65 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	0,88 GPS 1,10 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 49' 47,7027"	-48° 43' 24,7953"	345,63	8912545.209	749679.162	-51
<b>Na data do levantamento<sup>5</sup></b>	-9° 49' 47,6953"	-48° 43' 24,7975"	345,63	8912545.436	749679.096	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,019	0,103	0,080			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,46					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	364,09					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

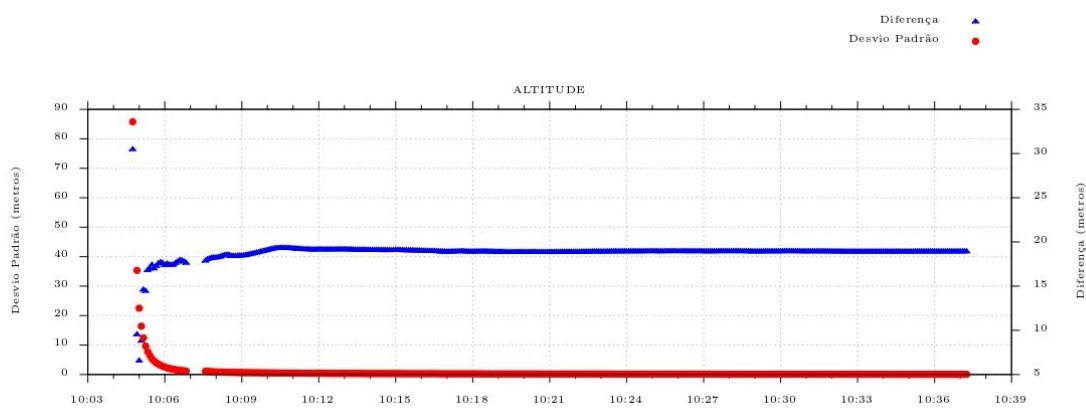
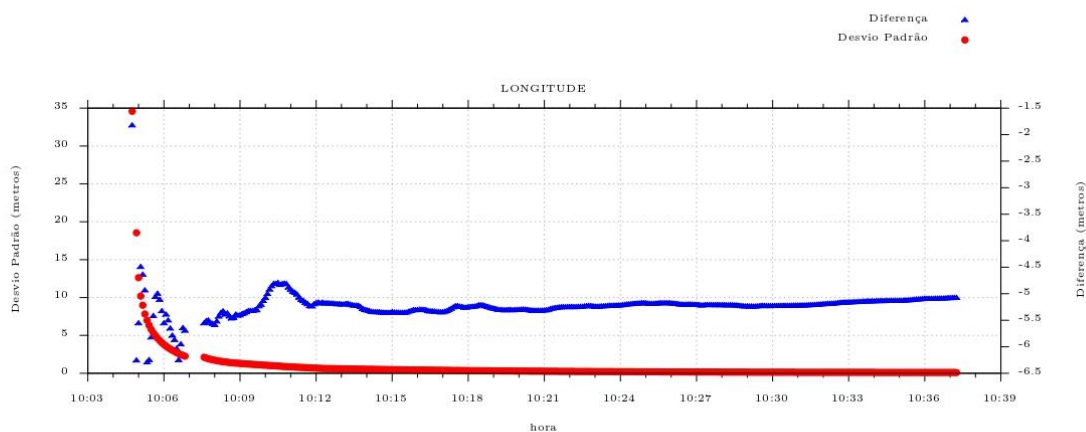
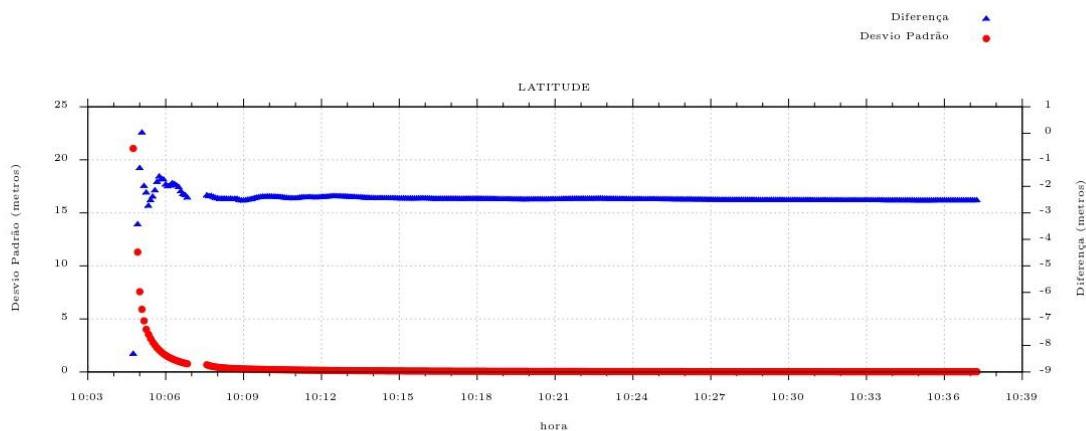
<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário.  
Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181.  
Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
2\_\_156k.19a





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 3

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 11:09:30,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 11:58:55,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	0,120
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	2,20 GPS 2,25 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,18 GPS 1,49 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 49' 59,6115"	-48° 43' 38,3613"	339,04	8912181.999	749263.167	-51
<b>Na data do levantamento<sup>5</sup></b>	-9° 49' 59,6041"	-48° 43' 38,3635"	339,04	8912182.227	749263.102	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,012	0,050	0,049			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,46					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	357,50					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

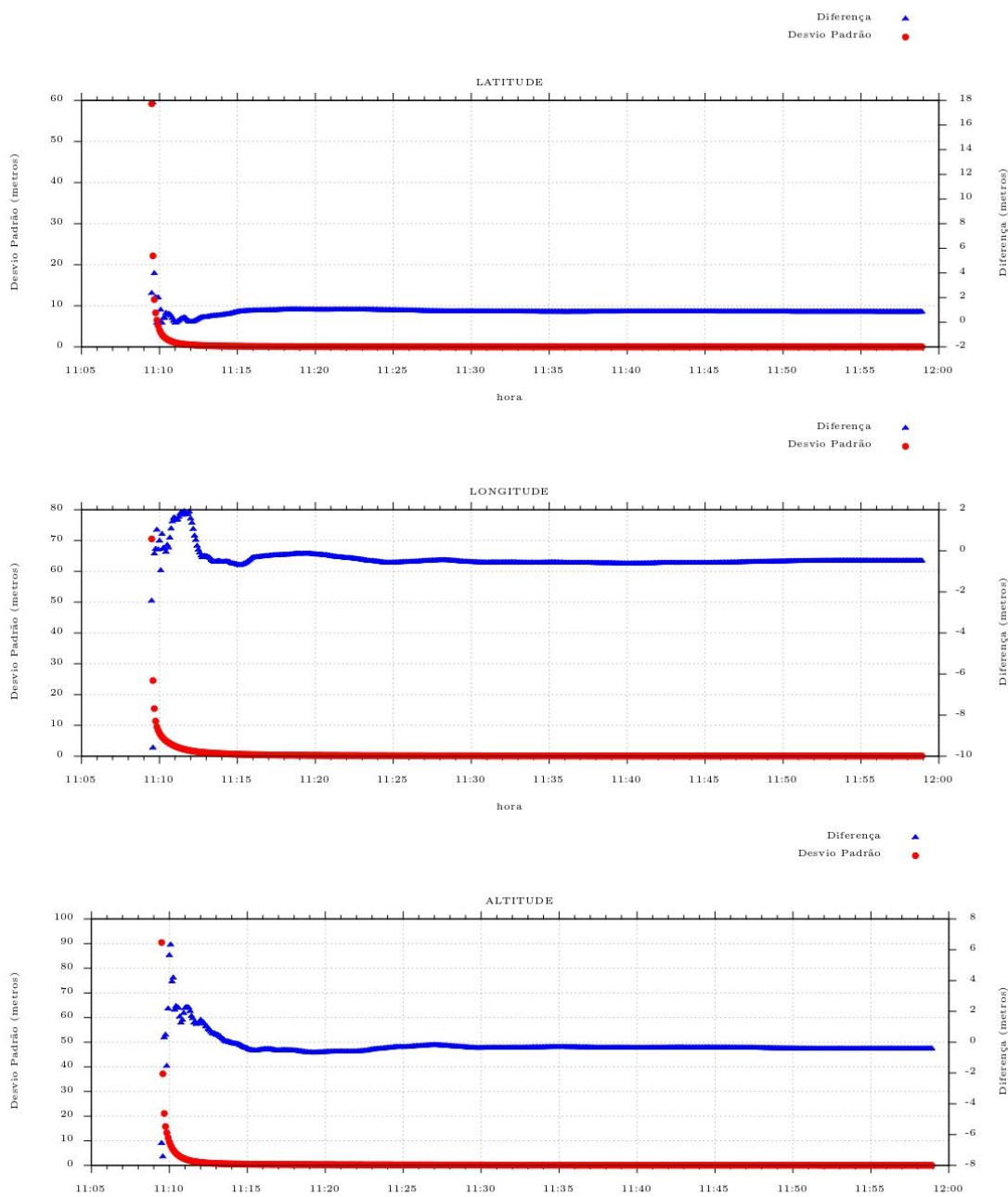
<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
3 \_\_\_ 1561.19o





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 4

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 10:56:05,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 11:37:30,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,140
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	1,87 GPS 2,52 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	0,89 GPS 1,03 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 49' 58,3405"	-48° 43' 24,8068"	350,50	8912218.261	749676.592	-51
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-9° 49' 58,3331"	-48° 43' 24,8090"	350,50	8912218.488	749676.526	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,010	0,054	0,049			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,46					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	368,96					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

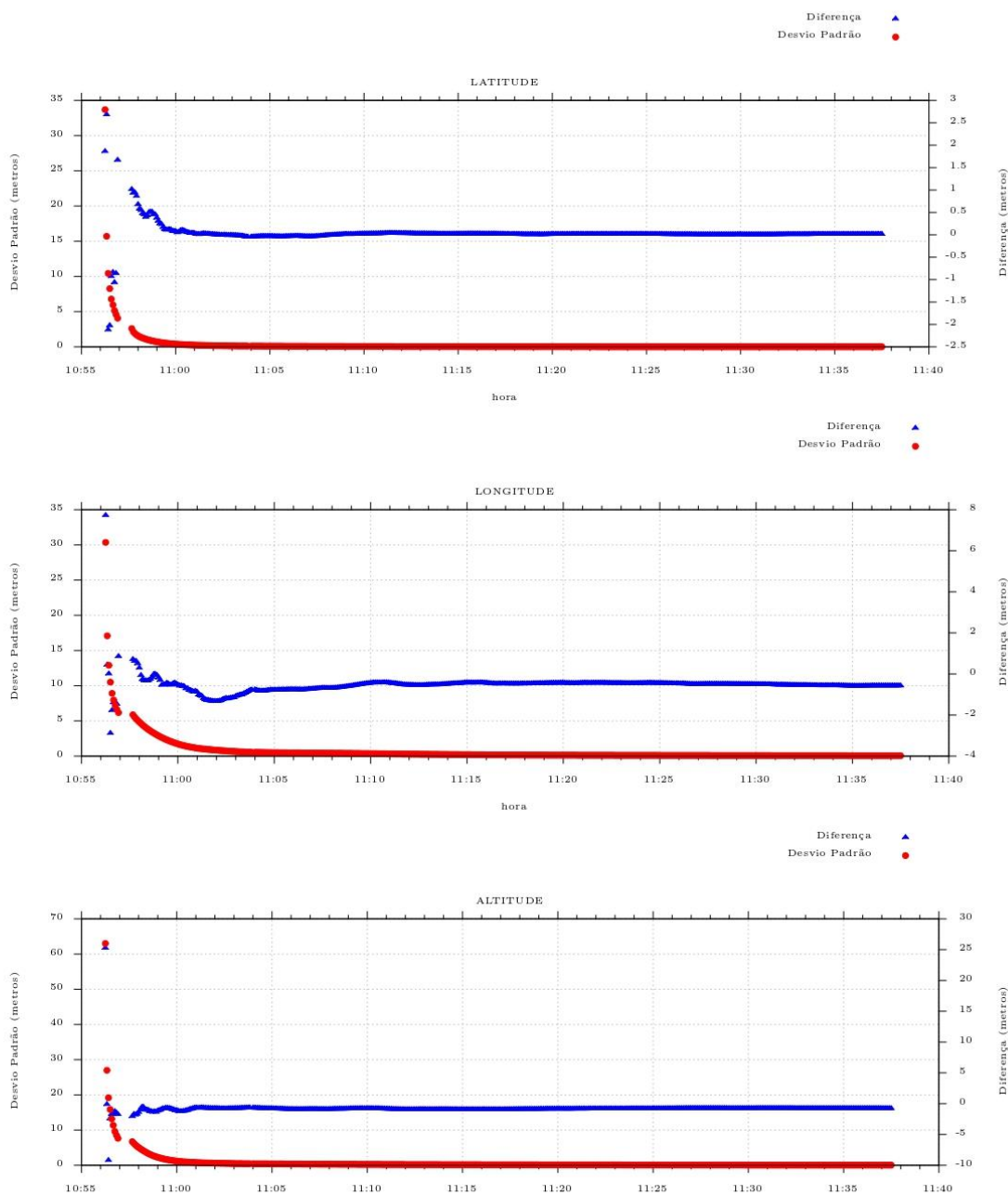
<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.



Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
4\_1560.190





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 5

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 12:07:40,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 12:54:15,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	0,120
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	1,58 GPS 3,06 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	0,93 GPS 1,15 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 50' 10,6550"	-48° 43' 38,9549"	339,48	8911842.703	749242.773	-51
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-9° 50' 10,6476"	-48° 43' 38,9571"	339,48	8911842.931	749242.707	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,013	0,055	0,053			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,45					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	357,93					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

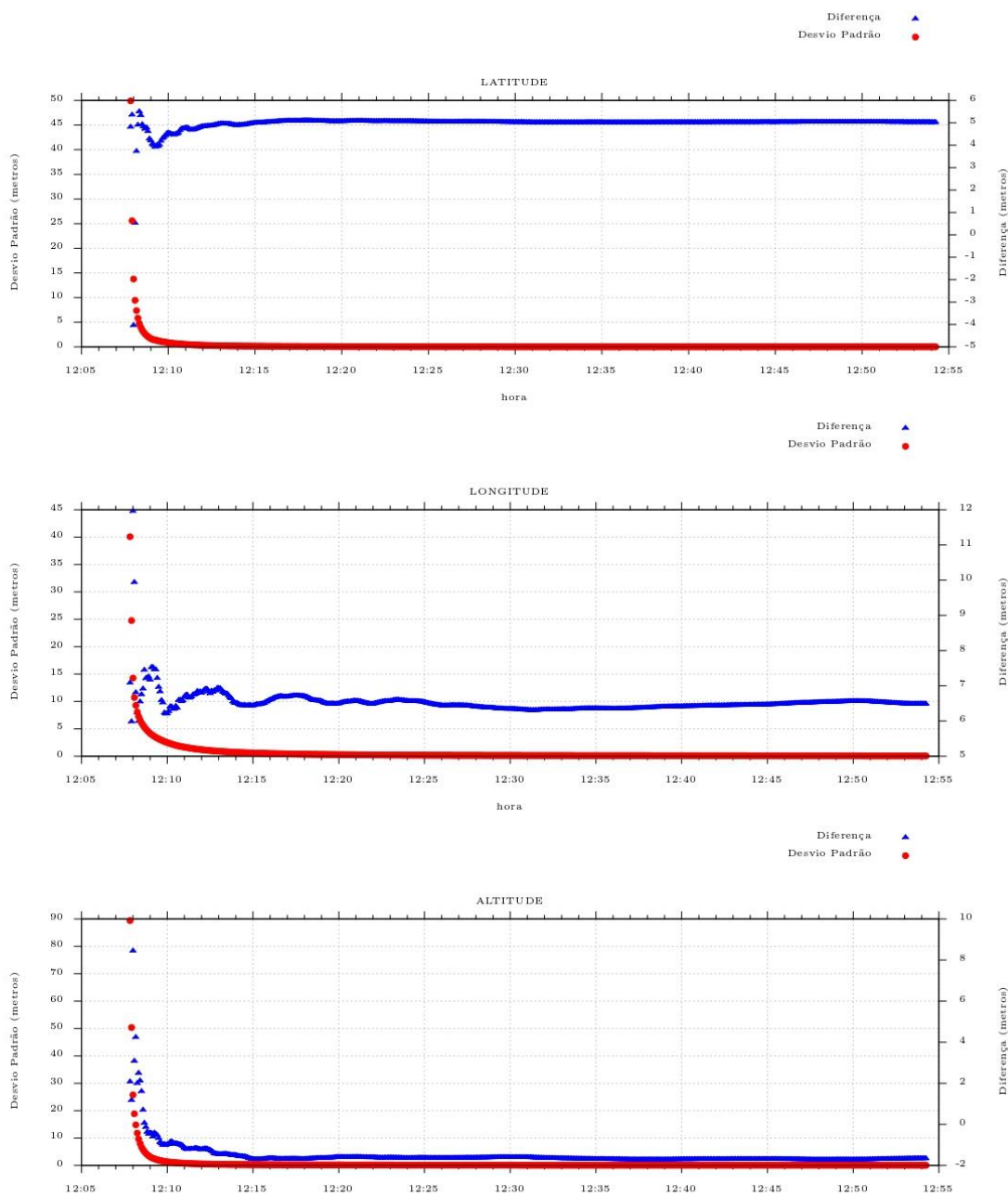
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
5 \_\_ 156m.19o





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 6

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 11:51:35,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 12:33:10,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,140
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	3,21 GPS 3,12 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,21 GPS 1,11 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 50' 11,3161"	-48° 43' 24,6175"	349,67	8911819.419	749679.654	-51
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-9° 50' 11,3087"	-48° 43' 24,6197"	349,67	8911819.647	749679.589	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,012	0,090	0,042			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,45					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	368,12					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

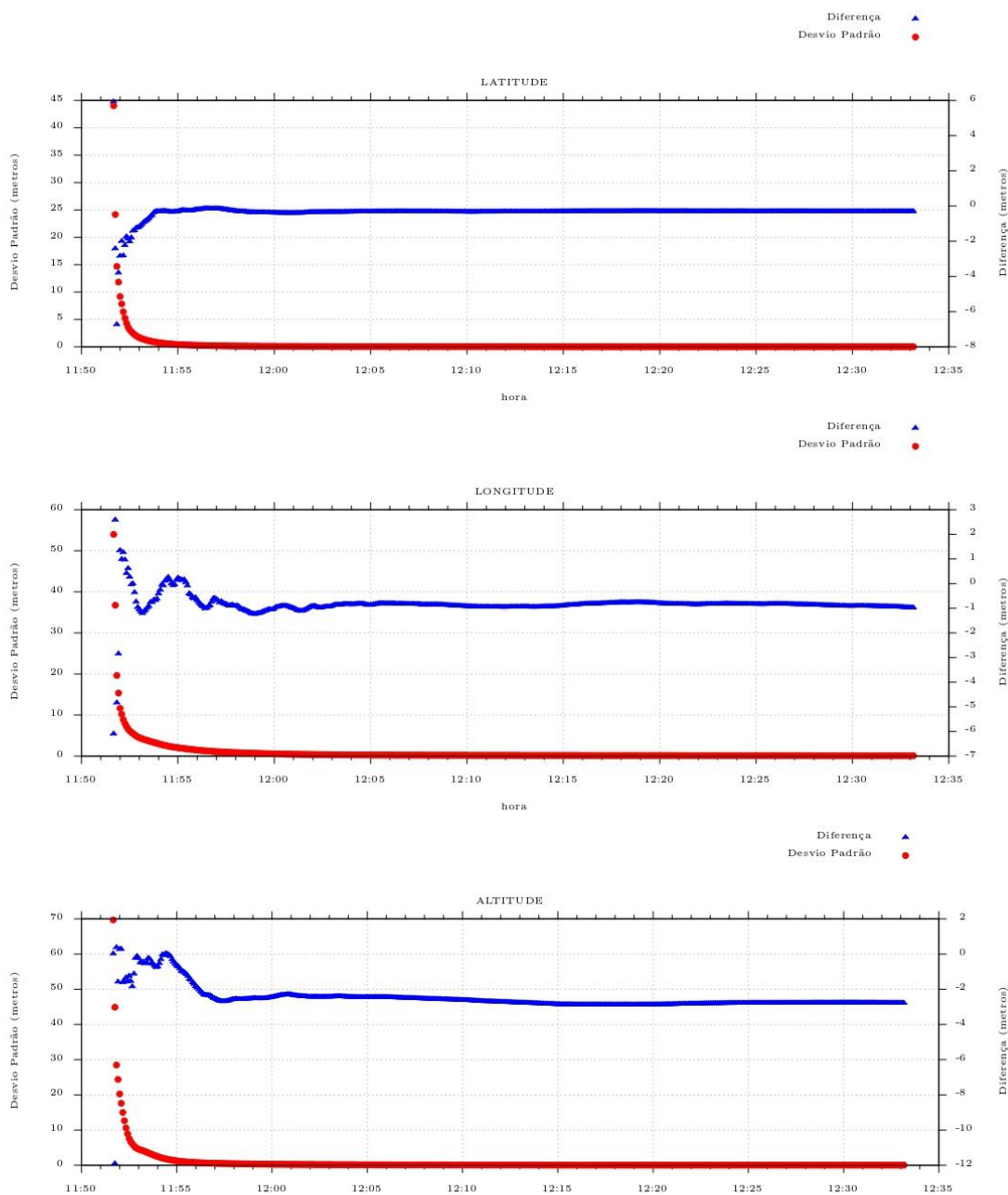
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
6\_\_1560.190





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: 7

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 13:01:05,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 13:48:10,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	0,120
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	2,08 GPS 2,64 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,12 GPS 1,10 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 50' 27,4096"	-48° 43' 41,9472"	345,82	8911328.374	749148.074	-51
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-9° 50' 27,4022"	-48° 43' 41,9494"	345,82	8911328.602	749148.008	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,014	0,031	0,033			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,44					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	364,26					

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

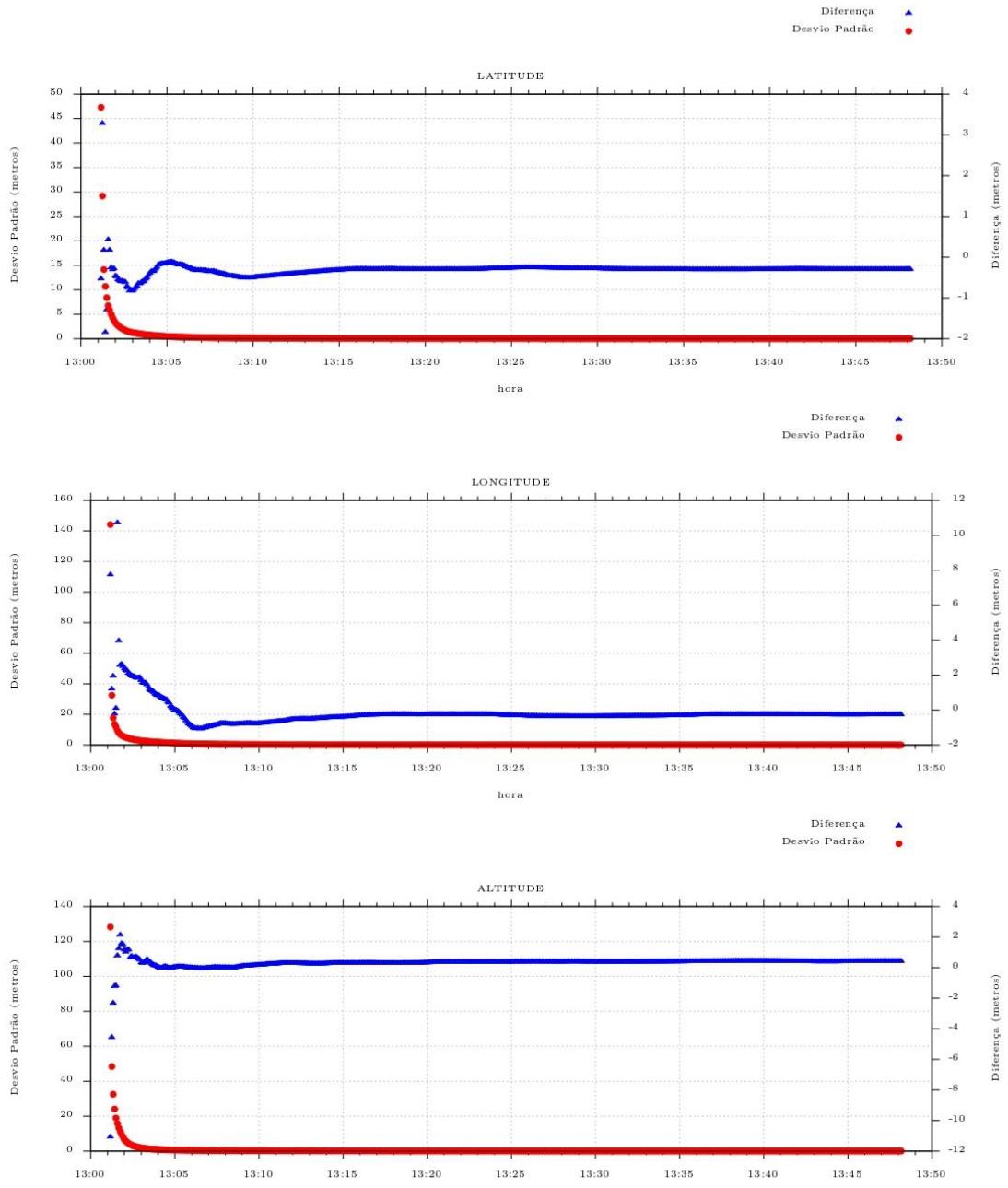
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
 $\gamma_{\_156n.190}$





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 8

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 12:46:00,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 13:35:00,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,140
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	2,34 GPS 3,17 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,12 GPS 0,88 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 50' 26,8820"	-48° 43' 24,0199"	344,08	8911340.881	749694.620	-51
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-9° 50' 26,8746"	-48° 43' 24,0221"	344,08	8911341.109	749694.554	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,012	0,036	0,035			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,44					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	362,52					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

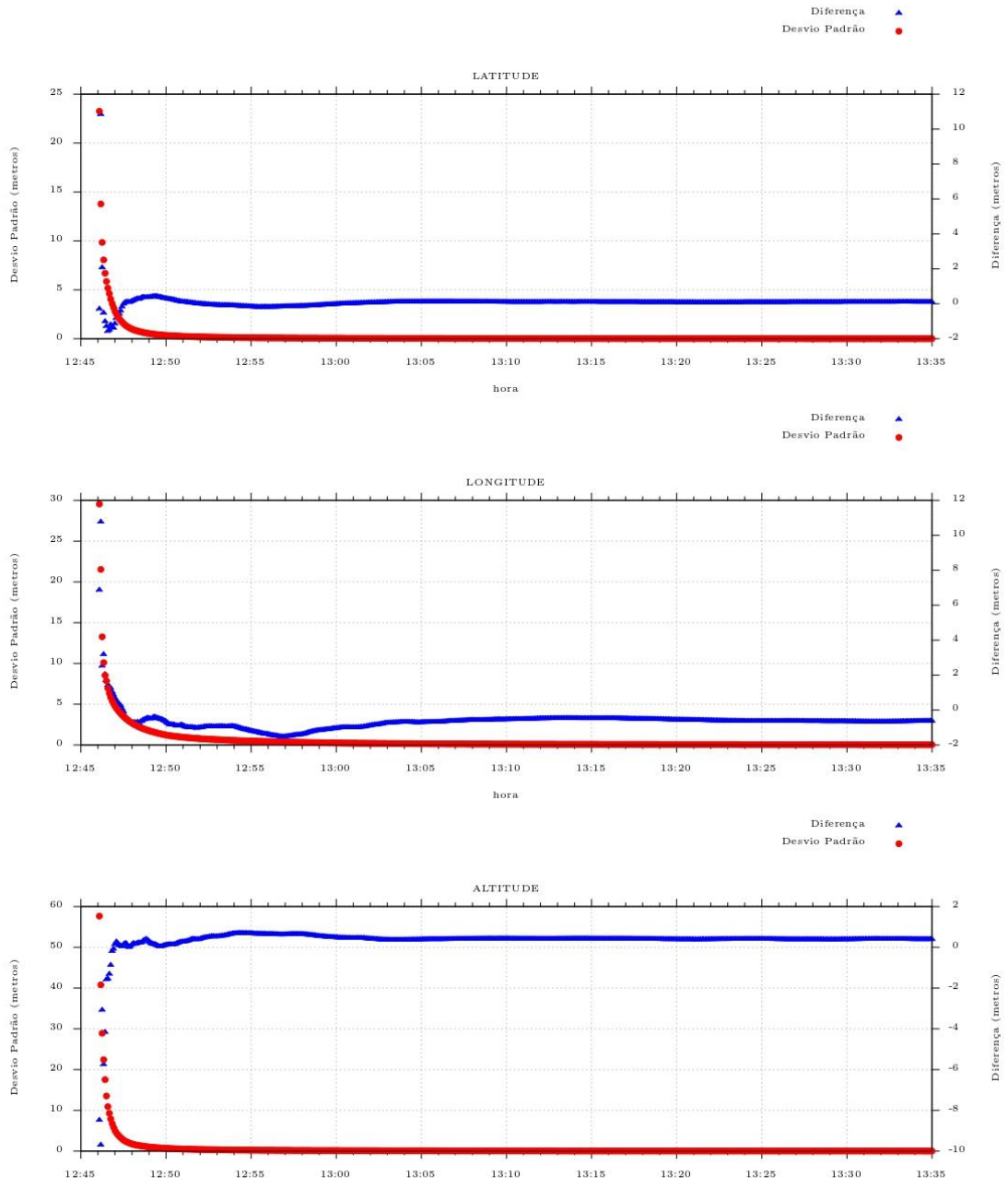
<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.



Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
 8\_\_1560.190





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 9

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 13:57:15,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/06/05 14:31:20,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:<sup>1</sup></b>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	0,120
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	1,15 GPS 1,72 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	0,91 GPS 0,97 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 50' 39,4104"	-48° 43' 40,5903"	345,79	8910959.252	749186.931	-51
<b>Na data do levantamento<sup>5</sup></b>	-9° 50' 39,4030"	-48° 43' 40,5925"	345,79	8910959.480	749186.866	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,021	0,045	0,057			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,44					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	364,23					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

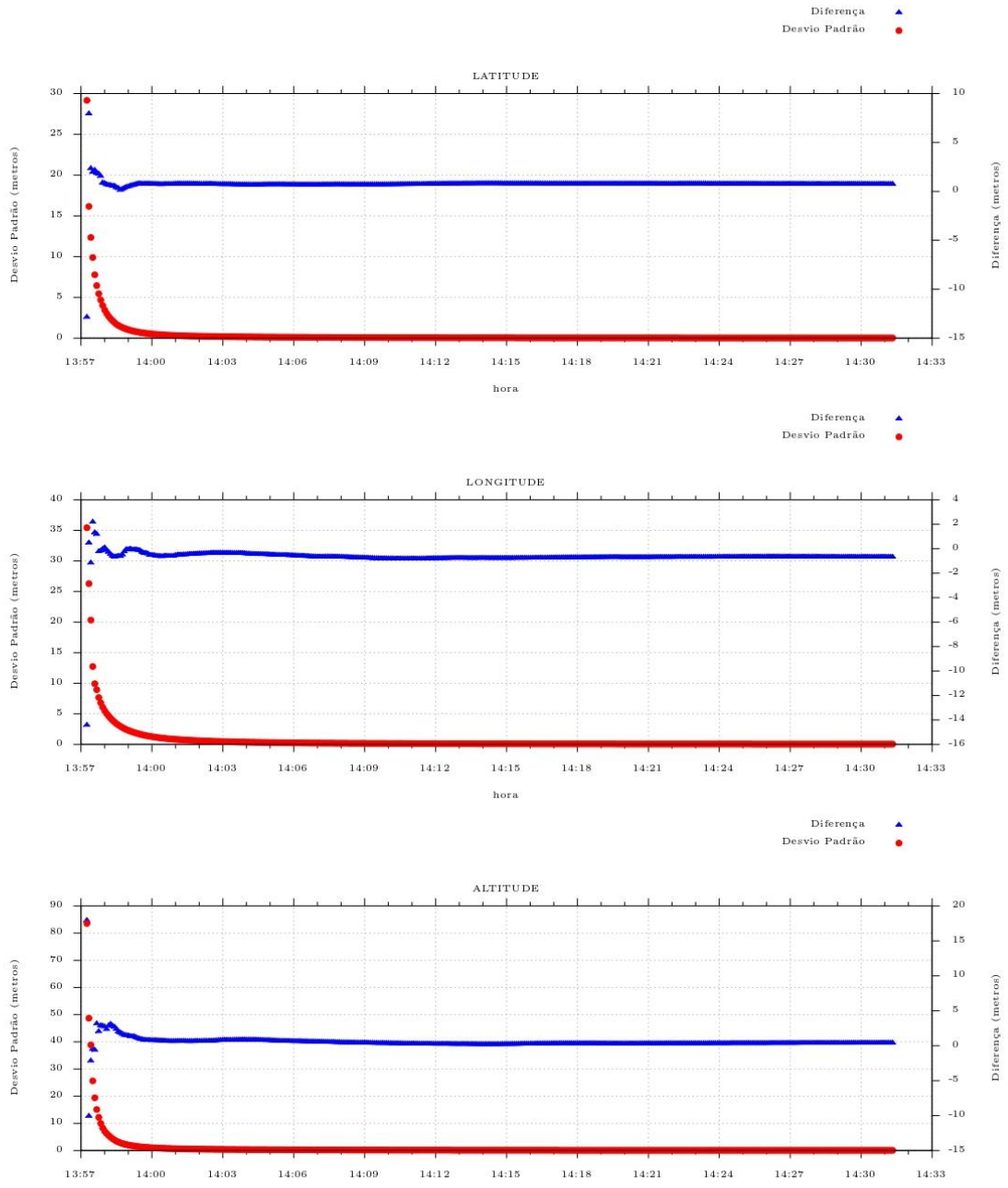
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
9\_\_1560.19o





Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: 10

<b>Início:</b> <sup>AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS</sup>	2019/06/05 13:48:50,00
<b>Fim:</b> <sup>AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS</sup>	2019/06/05 14:27:45,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	NÃO DISPONÍVEL
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	RÁPIDA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,140
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	1,89 GPS 3,71 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,01 GPS 0,88 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-9° 50' 38,5415"	-48° 43' 23,8419"	339,91	8910982.491	749697.610	-51
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-9° 50' 38,5341"	-48° 43' 23,8441"	339,91	8910982.719	749697.544	-51
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,020	0,051	0,060			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	-18,43					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	358,34					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

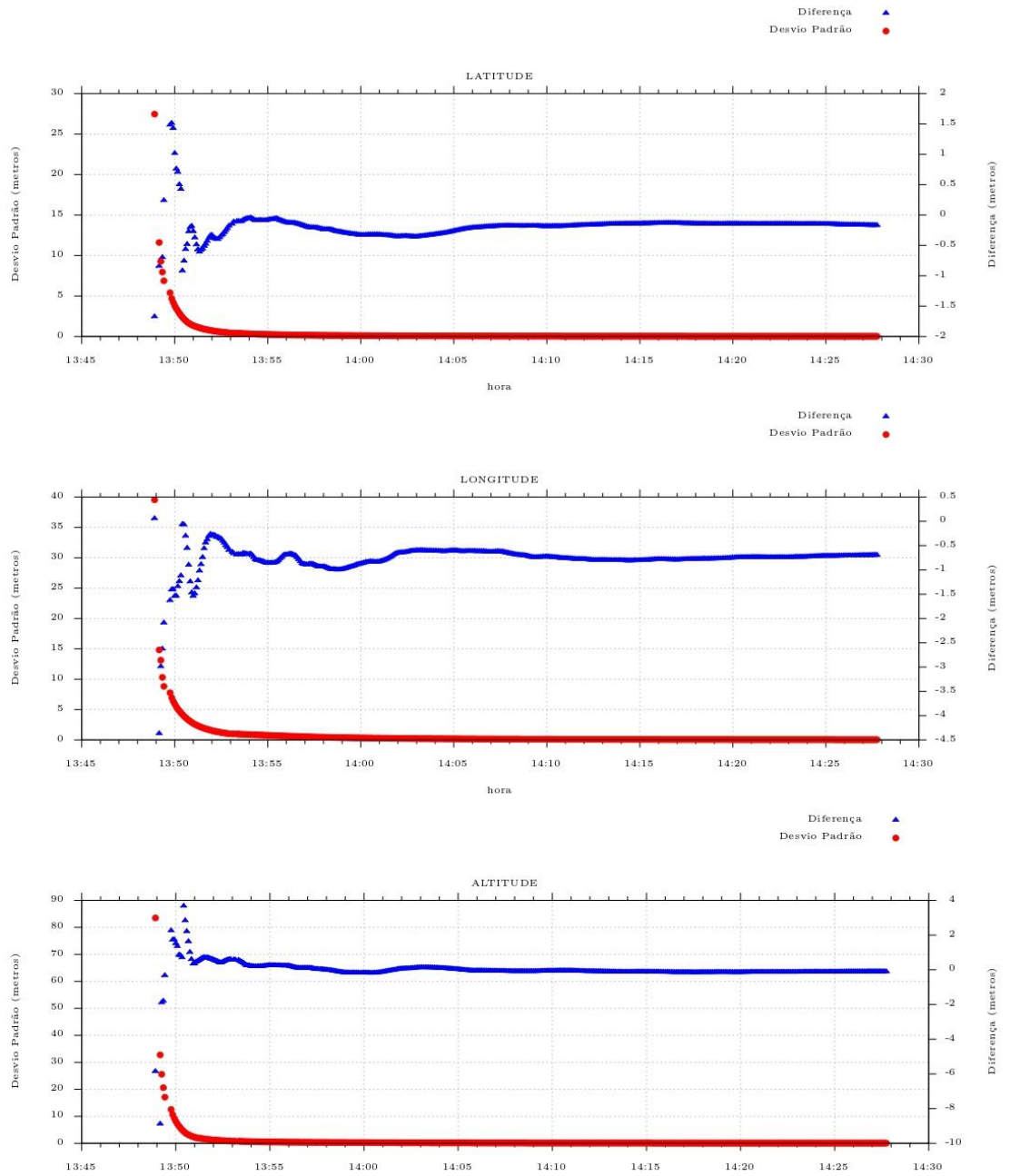
Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário.

Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181.

Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
10\_\_1560.19o



**ANEXO II**

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DAS IMAGENS NO SOFTWARE METASHAPE

**Agisoft Metashape**

**Processing Report**

**12 June 2019**



## Survey Data

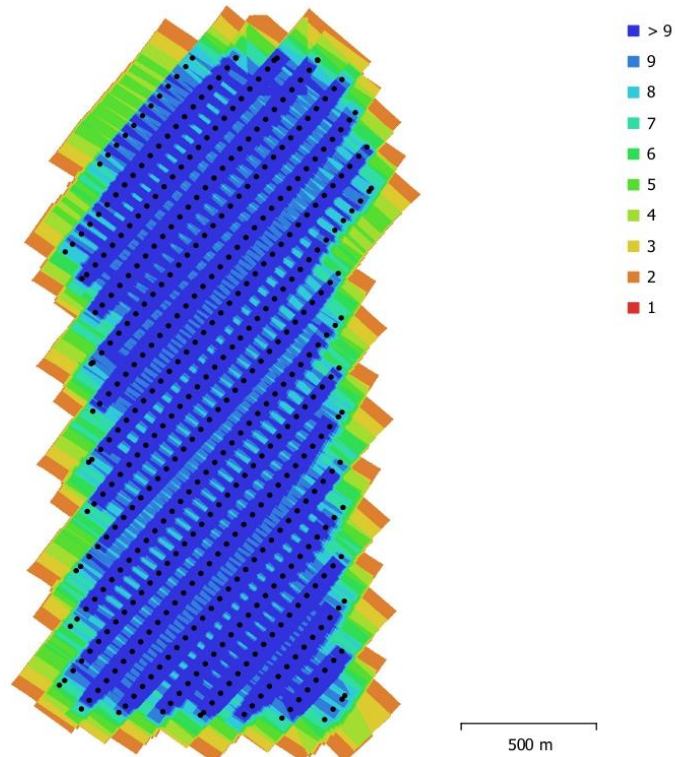


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	442	Camera stations:	442
Flying altitude:	245 m	Tie points:	463,394
Ground resolution:	7.48 cm/pix	Projections:	1,633,996
Coverage area:	3.26 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	1.57 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 $\mu\text{m}$	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

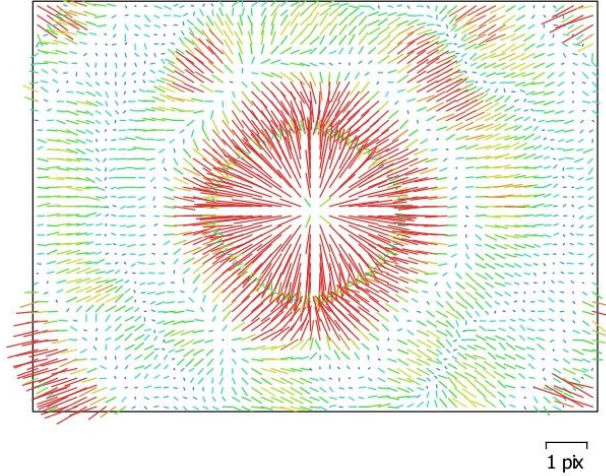


Fig. 2. Image residuals for FC220 (4.73mm).

### FC220 (4.73mm)

442 images

Type  
Frame

Resolution  
**4000 x 3000**

Focal Length  
**4.73 mm**

Pixel Size  
**1.57 x 1.57  $\mu\text{m}$**

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
<b>F</b>	<b>3001.89</b>	1	1.00	0.10	-0.48	-0.15	0.02	0.44	-0.67	0.78	-0.85	-0.03	0.01
<b>Cx</b>	<b>-10.7687</b>	0.16		1.00	-0.04	-0.24	0.50	0.04	-0.06	0.08	-0.09	-0.00	0.01
<b>Cy</b>	<b>26.7382</b>	0.17			1.00	-0.38	-0.14	-0.26	0.37	-0.42	0.45	0.01	0.12
<b>B1</b>	<b>-10.6107</b>	0.018				1.00	-0.05	-0.01	0.05	-0.07	0.09	0.03	-0.04
<b>B2</b>	<b>2.12569</b>	0.018					1.00	0.00	-0.02	0.02	-0.02	-0.04	0.02
<b>K1</b>	<b>0.0911782</b>	0.00015						1.00	-0.94	0.86	-0.79	-0.03	-0.03
<b>K2</b>	<b>-0.485373</b>	0.001							1.00	-0.98	0.94	0.03	0.02
<b>K3</b>	<b>1.04137</b>	0.0028								1.00	-0.99	-0.03	-0.02
<b>K4</b>	<b>-0.77163</b>	0.0025									1.00	0.03	0.01
<b>P1</b>	<b>-1.82441e-005</b>	3.9e-006										1.00	-0.06
<b>P2</b>	<b>-0.000176463</b>	4.3e-006											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.



## Camera Locations

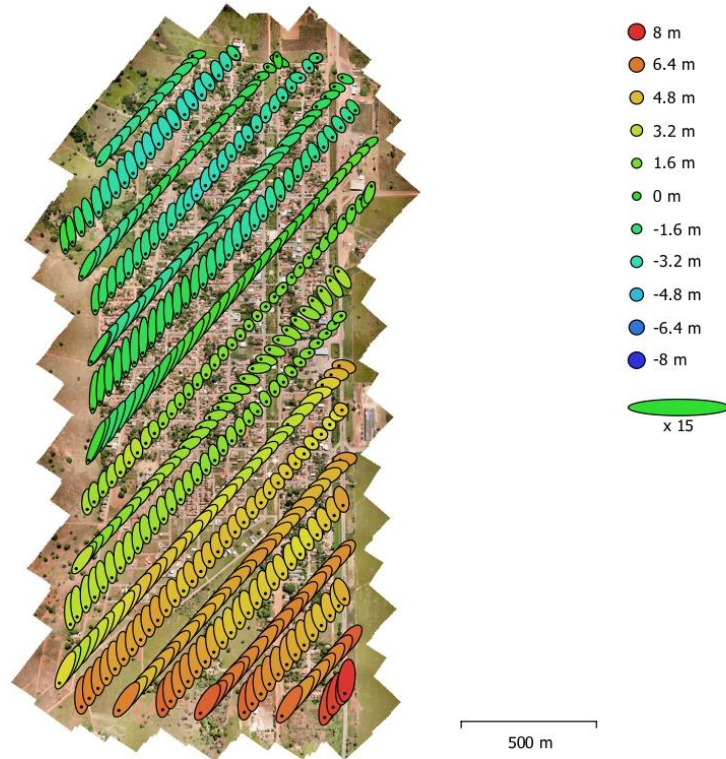


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.23867	4.17179	3.46511	4.7345	5.86707

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

# Ground Control Points

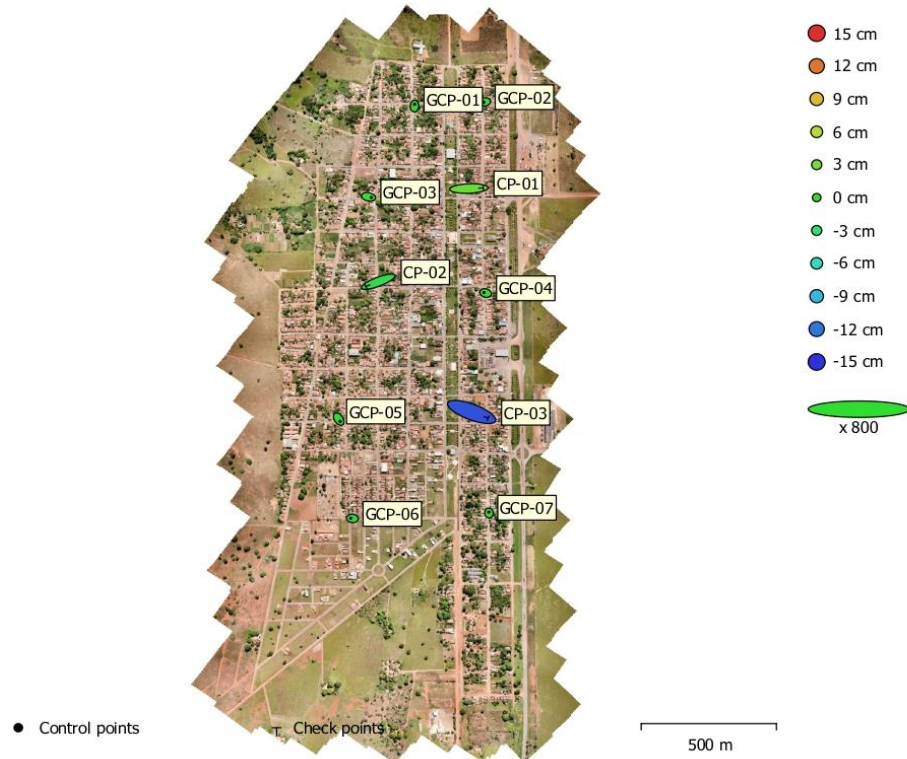


Fig. 4. GCP locations and error estimates.  
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
 Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
7	1.44609	1.1137	0.139396	1.82524	1.83056

Table 4. Control points RMSE.  
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	13.388	4.2941	7.96498	14.0598	16.1592

Table 5. Check points RMSE.  
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
GCP-01	0.0714075	1.64065	-0.0747411	1.6439	0.261 (12)
GCP-02	-1.10165	-0.227506	-0.0861198	1.12819	0.162 (9)
GCP-03	2.64099	-0.554773	0.196893	2.7058	0.315 (12)
GCP-04	-1.52121	0.432554	-0.145632	1.5882	0.172 (8)
GCP-05	1.3893	-2.17865	0.194773	2.59126	0.216 (12)
GCP-06	-1.47951	0.154784	-0.135378	1.49373	0.284 (12)
GCP-07	-0.107629	0.820624	0.0823196	0.831736	0.265 (10)
<b>Total</b>	<b>1.44609</b>	<b>1.1137</b>	<b>0.139396</b>	<b>1.83056</b>	<b>0.251</b>

Table 6. Control points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

<b>Label</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (pix)</b>
CP-01	13.1878	0.555474	2.26027	13.3916	0.203 (10)
CP-02	-11.5536	-4.52013	-1.19864	12.4641	0.161 (11)
CP-03	15.176	-5.88029	-13.5564	21.1817	0.385 (11)
<b>Total</b>	<b>13.388</b>	<b>4.2941</b>	<b>7.96498</b>	<b>16.1592</b>	<b>0.270</b>

Table 7. Check points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

## Digital Elevation Model

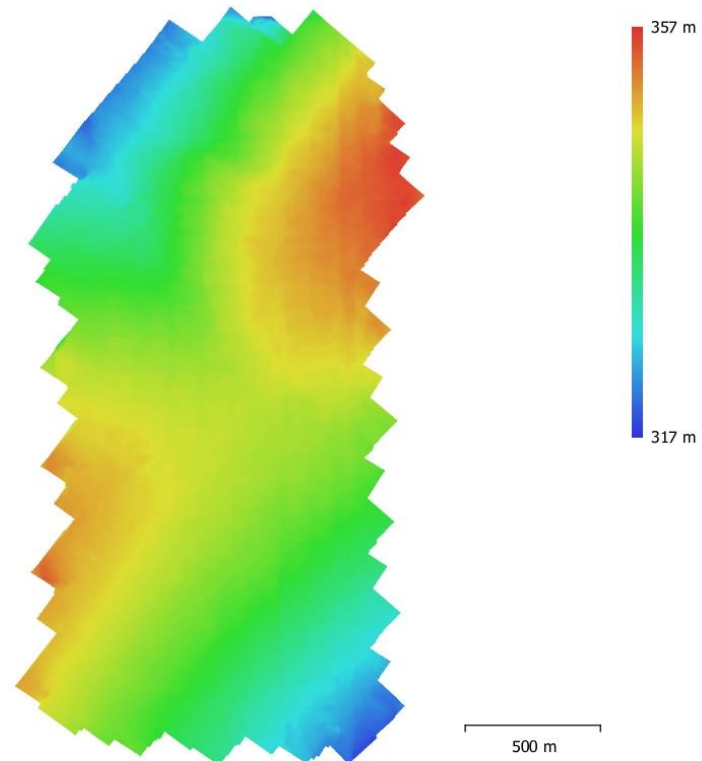


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 59.8 cm/pix  
Point density: 2.79 points/m<sup>2</sup>

# Processing Parameters

## General

Cameras	442
Aligned cameras	442
Markers	10
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

## Point Cloud

Points	463,394 of 496,000
RMS reprojection error	0.184671 (1.56573 pix)
Max reprojection error	1.35971 (48.1621 pix)
Mean key point size	7.90449 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.69864

## Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	No
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	38 minutes 39 seconds
Alignment time	19 minutes 52 seconds

## Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	36 seconds
Software version	1.5.3.8407

## Depth Maps

Count	442
-------	-----

## Depth maps generation parameters

Quality	Low
Filtering mode	Aggressive
Processing time	59 minutes 53 seconds
Software version	1.5.3.8407

## Dense Point Cloud

Points	10,167,306
Point colors	3 bands, uint8

## Depth maps generation parameters

Quality	Low
Filtering mode	Aggressive
Processing time	59 minutes 53 seconds

## Dense cloud generation parameters

Processing time	8 minutes 31 seconds
Software version	1.5.3.8407

## Model

Faces	651,318
Vertices	328,475
Vertex colors	3 bands, uint8

## Depth maps generation parameters

**General**

Quality Low  
 Filtering mode Aggressive  
 Processing time 59 minutes 53 seconds

**Reconstruction parameters**

Surface type Height field  
 Source data Dense cloud  
 Interpolation Enabled  
 Strict volumetric masks No  
 Processing time 2 minutes 17 seconds  
 Software version 1.5.3.8407

**DEM**

Size 3,241 x 6,256  
 Coordinate system SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

**Reconstruction parameters**

Source data Mesh  
 Interpolation Enabled  
 Processing time 1 minutes 22 seconds  
 Software version 1.5.3.8407

**Orthomosaic**

Size 20,312 x 38,736  
 Coordinate system SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)  
 Colors 3 bands, uint8

**Reconstruction parameters**

Blending mode Mosaic  
 Surface DEM  
 Enable hole filling Yes  
 Processing time 35 minutes 5 seconds  
 Software version 1.5.3.8407

**Software**

Version 1.5.3 build 8407  
 Platform Windows 64

