

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LARISSA MILENA PINTO PARRA

DESENVOLVIMENTO DE COMPLEMENTO PARA QGIS COM FINALIDADE DE  
APLICAÇÃO DO CONTROLE DE QUALIDADE CONFORME PEC-PCD

CURITIBA

2019

LARISSA MILENA PINTO PARRA

DESENVOLVIMENTO DE COMPLEMENTO PARA QGIS COM FINALIDADE DE  
APLICAÇÃO DO CONTROLE DE QUALIDADE CONFORME PEC-PCD

Projeto Final apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciene Stamato Delazari  
Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Ercolin Filho

CURITIBA

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família por todo apoio e amor que puderam dar ao longo da minha vida, principalmente minha mãe, Dirce Waluszko Pinto, que abdicou de tanto pelos filhos, sem nunca perder o carinho, rigidez e engenhosidade.

Agradeço a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra<sup>a</sup>. Luciene Stamato Delazari e ao meu coorientador Prof. Dr. Leonardo Ercolin Filho pela paciência, sensatez, contribuições e tempo a mim disponibilizado.

À Juliana Matilde Hreczuck, por ter sido a mais grata surpresa que a universidade me proporcionou, agradeço por sempre me questionar, ajudar e apoiar, independentemente da situação. Agradeço também pelo carinho, paciência e sabedoria, o que tornou o período da graduação muito mais agradável.

Aos incríveis amigos que estiveram comigo nos melhores e piores momentos ao longo desses cinco anos, Eliana Vieira de Freitas, Lucas dos Santos Bezera e Isabela Alvarenga Landim. Sou imensamente grata pelos conselhos, estudos e momentos de descontração.

Devo agradecer também a todos os professores, amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação. E por fim, agradeço imensamente a Universidade Federal do Paraná pelo ensino gratuito e de excelência.

## RESUMO

Com o avanço tecnológico das aeronaves remotamente pilotadas (RPA), houve também um aumento de produtividade na aquisição de dados geoespaciais. Em um processamento de dados provenientes de um RPA, um dos dados gerados é a ortoimagem, que necessita ser submetida a um processo de controle de qualidade a fim de se saber qual a finalidade de uso pode ser dada a mesma. No ano de 2017, foram realizados voos no *campus* Centro Politécnico da UFPR para o projeto UFPR CampusMap ([www.campusmap.ufpr.br](http://www.campusmap.ufpr.br)), que visa prover uma base de dados atualizada para os *campi* da UFPR. O Centro Politécnico foi definido como área do projeto piloto para o estudo da metodologia de coleta, processamento, análise e validação dos dados, visando futuramente servir como referência para os levantamentos dos mais de 11 milhões de metros quadrados de área de terreno da UFPR, bem como demais localidades de interesse. Para realizar o controle de qualidade das ortomagens geradas no projeto UFPR CampusMap, foi proposta a aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) utilizando como base a metodologia descrita pela ET-CQDG (Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais) bem como testes estatísticos *t de Student* e *Qui-Quadrado*. De forma a facilitar a análise para o usuário, foi realizada a implementação de um complemento para o programa de código aberto QGIS (<https://www.qgis.org>) para avaliação da precisão e exatidão planimétrica de ortomagens através de programação na linguagem *Python*. Como etapas metodológicas para atingir o objetivo, foi inicialmente realizada uma revisão sobre o Decreto 89.817 que trata do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), bem como sua evolução para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), determinação do tamanho de uma população e amostra e análise estatística, de forma que através disto foi possível elencar os requisitos necessários para o projeto. Em seguida, foi desenvolvido o algoritmo de cálculo com interface gráfica e os resultados obtidos em uma área de teste foram comparados com o cálculo realizado em planilha Excel e o programa GeoPEC (<http://www.geopec.com.br>). A partir dos resultados alcançados, pode-se concluir que o complemento desenvolvido facilita ao usuário a análise de precisão e exatidão planimétrica de ortomagens segundo padrões estabelecidos pelo PEC-PCD, podendo ser utilizado tanto no projeto UFPR CampusMap quanto para qualquer outro projeto que envolva esse tipo de análise.

Palavras-chave: PEC-PCD, Complemento, Exatidão.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 – ÁREA DE ESTUDO .....                                                          | 20 |
| FIGURA 2 – DIAGRAMA DE CASOS DE USOS - ATIVIDADE DO USUÁRIO.....                         | 24 |
| FIGURA 3 – INTERFACE DESENVOLVIDA.....                                                   | 25 |
| FIGURA 4 – PROJETAR VETOR DE PONTOS PARA PROJEÇÃO<br>CARTOGRÁFICA SELECIONADA .....      | 28 |
| FIGURA 5 – GERAR COLUNAS DE GEOMETRIA PARA VETOR DAS<br>COORDENADAS DO TERRENO .....     | 29 |
| FIGURA 6 – UNIÃO POR PROXIMIDADE ENTRE OS PONTOS DO PRODUTO E<br>PONTOS DO TERRENO ..... | 29 |
| FIGURA 7 – ANÁLISE PEC-PCD.....                                                          | 30 |
| FIGURA 8 – EXEMPLO DE CONDICIONANTE DA CONDICIONANTE<br>HORIZONTAL .....                 | 30 |
| FIGURA 9 – EXEMPLO DE CONDICIONANTE PARA ENQUADRAMENTO ERRO<br>MÉDIO .....               | 31 |
| FIGURA 10 – ENQUADRAMENTO DEFINITIVO PEC-PCD.....                                        | 32 |
| FIGURA 11 – EP ENQUADRADO NO PEC-PCD .....                                               | 32 |
| FIGURA 12 – VISUALIZAÇÃO GERAL DO SOFTWARE QGIS.....                                     | 34 |
| FIGURA 13 – VISUALIZAÇÃO DA JANELA DO COMPLEMENTO .....                                  | 35 |
| FIGURA 14 – DEFINIR DIRETÓRIO.....                                                       | 35 |
| FIGURA 15 – GERAR QUADRÍCULAS .....                                                      | 36 |
| FIGURA 16 – VALOR CALCULADO PARA AMOSTRA .....                                           | 37 |
| FIGURA 17 – CAPTURAR COORDENADAS .....                                                   | 38 |
| FIGURA 18 – DEFINIR PROJEÇÃO E COORDENADAS DO TERRENO.....                               | 38 |
| FIGURA 19 – TABELA DE ATRIBUTOS COM RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS<br>PARTE I .....           | 39 |
| FIGURA 20 – TABELA DE ATRIBUTOS COM RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS<br>PARTE II .....          | 40 |
| FIGURA 21 – RELATÓRIO GERADO PARTE I.....                                                | 41 |
| FIGURA 22 – RELATÓRIO GERADO PARTE II.....                                               | 42 |
| FIGURA 23 – INSERÇÃO DE DADOS NO PROGRAMA GEOPEC .....                                   | 43 |
| FIGURA 24 – RESULTADOS GEOPEC: EXATIDÃO .....                                            | 44 |
| FIGURA 25 – RESULTADOS GEOPEC: TENDÊNCIA.....                                            | 45 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| QUADRO 1 – VALORES DO PEC E DO EP SEGUNDO DECRETO-LEI Nº |    |
| 89.817/84 .....                                          | 11 |
| QUADRO 2 – MEDIDA PAP-PCD PLANIMÉTRICO .....             | 13 |
| QUADRO 3 – PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DOS PRODUTOS  |    |
| CARTOGRÁFICOS DIGITAIS.....                              | 15 |
| QUADRO 4 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS GERADOS .....       | 46 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                   | <b>8</b>  |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                                                                         | 10        |
| 1.1.1 Objetivo geral .....                                                                                  | 10        |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                                                                            | 10        |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                                                        | <b>11</b> |
| 2.1 PEC-PCD .....                                                                                           | 11        |
| 2.2 TAMANHO DA POPULAÇÃO (N) E TAMANHO DA AMOSTRA (N) .....                                                 | 15        |
| 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....                                                                               | 16        |
| 2.3.1 Análise de tendência .....                                                                            | 16        |
| 2.3.2 Análise de precisão .....                                                                             | 17        |
| 2.3.3 Precisão e exatidão máxima .....                                                                      | 18        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                                          | <b>20</b> |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO.....                                                                                     | 20        |
| 3.2 MATERIAIS .....                                                                                         | 21        |
| 3.3 MÉTODOS .....                                                                                           | 21        |
| 3.3.1 Identificação dos requisitos .....                                                                    | 22        |
| 3.3.2 Proposta e implementação da interface .....                                                           | 23        |
| 3.3.3 Documentação .....                                                                                    | 33        |
| 3.3.4 Análise dos resultados .....                                                                          | 33        |
| <b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>                                                                       | <b>34</b> |
| 4.1 TESTE COM O COMPLEMENTO.....                                                                            | 34        |
| 4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....                                                                          | 42        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                         | <b>47</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                     | <b>49</b> |
| <b>APÊNDICE A - MANUAL DE INSTALAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO<br/>COMPLEMENTO PEC-PCD PARA O PROGRAMA QGIS .....</b> | <b>51</b> |
| <b>APÊNDICE B - RELATÓRIO PEC-PCD.....</b>                                                                  | <b>53</b> |
| <b>ANEXO A - TABELA T DE <i>STUDENT</i> .....</b>                                                           | <b>54</b> |
| <b>ANEXO B - TABELA QUI-QUADRADO.....</b>                                                                   | <b>55</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de dados espaciais nas mais diversas áreas de conhecimento vêm crescendo exponencialmente. Da mesma forma, a tecnologia utilizada no mapeamento também cresce em velocidade espantosa, aponta Santos et al. (2016). Com isso Galo e Camargo (1994) afirmam que a evolução tecnológica eleva o número de usuários não especialistas em mapeamento, deixando assim de lado a qualidade posicional dos produtos gerados (SANTOS et al., 2016). A Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) conceitua qualidade como a conformidade com uma especificação, enquanto para a ISO 2002, qualidade é tratada como um conjunto de características de um produto que visam satisfazer as necessidades, explícitas e implícitas, de um usuário (ISO 19113:2002).

Atualmente, um dos equipamentos que se destacam na evolução tecnológica são as aeronaves remotamente pilotadas (RPA), pois estas têm sido evidenciadas no mapeamento aéreo devido ao aumento de produtividade na aquisição de dados espaciais. Um dos principais produtos gerados através da utilização de um RPA são as ortoimagens, que “são imagens digitais em projeção cartográfica” (ANDRADE, 1998). Uma ortoimagem é um produto cartográfico digital que necessita de controle de qualidade, pois este pode indicar qual a possível utilização deste dado em termos de extração de feições cartográficas e informações geométricas (FARIAS; MERÊNCIO; VIEIRA, 2018).

A forma mais usual de se avaliar uma ortoimagem é através da exatidão posicional, que “refere-se a quão próxima a posição de um dado espacial está em relação à sua realidade no terreno” (SANTOS et al., 2016 apud. NOGUEIRA JR. 2003; ARIZA 2002). A exatidão posicional pode ser tida como indicador de nível de qualidade dos dados e para avaliá-la é necessário realizar uma amostra de checagem no produto, de forma a obter as discrepâncias entre o dado espacial e o dado de checagem, discrepâncias estas que podem ser submetidas à análise de qualidade. No Brasil, essa avaliação pode ser realizada a partir do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), utilizando como base a metodologia descrita pela ET-CQGD, elaborada pelo comitê de normatização da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro. O objetivo desta especificação técnica é “fornecer uma forma padronizada para avaliar a qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico

Nacional (SCN) do Brasil” (DSG, 2016). A ET-CQDG utiliza os valores instituídos para o PEC-PCD através da Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), sendo estes valores estabelecidos a partir da revisão do PEC determinado pelo Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Uma das maneiras de realizar os cálculos pertinentes à estas avaliações de exatidão podem ser através da utilização de programas como planilhas para cálculos, Freemat (<http://freemat.sourceforge.net/>) e também o programa GeoPEC (<http://www.geopec.com.br>). Para a realização das análises nos programas citados, o usuário deve ter os dados das coordenadas no produto e suas homologas no terreno já separadas e formatadas para a utilização, sendo assim necessário realizar diversas etapas em diferentes programas para conseguir os dados e os resultados. Exemplificando a situação acima descrita: para obter as coordenadas dos pontos amostrais no produto, o usuário deve utilizar de um programa que possibilite tal atividade, como é o caso do QGIS, pra então em posse dessas coordenadas, utilizar outro programa para enfim realizar os cálculos pertinentes para as análises necessárias. De forma a facilitar a avaliação da precisão e exatidão de ortoimagens, bem como otimizar tempo do usuário e minimizar erros, neste trabalho foi desenvolvido um complemento no programa de código aberto QGIS (<https://www.qgis.org>) através da linguagem de programação *Python*, que possibilita ao usuário avaliar a precisão e exatidão de ortoimagens conforme classes definidas pelo PEC-PCD utilizando testes estatísticos *t de Student* e *Qui-Quadrado*.

Como área de teste para o complemento foi utilizada uma ortoimagem proveniente do aerolevantamento do *campus* Centro Politécnico da UFPR realizado em 2017 utilizando um equipamento do tipo RPA modelo DJI Phantom 4. Esse aerolevantamento foi executado para realizar a atualização cartográfica do *campus* Centro Politécnico, que é o local escolhido como área teste para o projeto piloto UFPR CampusMap. Este projeto que surgiu em 2014 com o objetivo de prover uma base de dados atualizada e informações para a comunidade acadêmica a respeito do espaço interno da estrutura dos campi da UFPR. O projeto é desenvolvido no Laboratório de Cartografia e SIG da UFPR em conjunto com o Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação (CEPAG – [www.cepag.ufpr.br](http://www.cepag.ufpr.br)). Delazari et al. (2018) apontam que a falta de conhecimento do espaço e suas características pode impactar diretamente no gerenciamento de recursos da infraestrutura dos *campi*, tornando clara e indiscutível necessidade de a Universidade possuir uma base cartográfica atualizada para os mais

de 11 milhões de metros quadrados de área de terreno. A metodologia estudada e aplicada para a coleta, processamento, análise e divulgação dos dados do projeto UFPR CampusMap está sendo desenvolvida, testada e validada, portanto, é possível utilizar a metodologia proposta neste trabalho para a avaliação das ortoimagens geradas. Sendo assim, o complemento gerado para o QGIS pode ser utilizado tanto para projetos de universidades (como é o caso do projeto UFPR CampusMap), quanto por qualquer outro tipo de usuário que necessite realizar uma avaliação de exatidão em uma ortoimagem.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um complemento para o programa livre de código-fonte aberto QGIS, no qual o usuário possa realizar a avaliação da precisão e exatidão planimétrica de uma ortoimagem conforme PEC-PCD.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- Identificar e descrever os requisitos do complemento;
- Desenvolver complemento;
- Realizar teste e análises dos resultados para área de estudo do *Campus* Centro Politécnico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentadas as diretrizes utilizadas na presente pesquisa, partindo da normativa PEC-PCD até as análises estatísticas.

### 2.1 PEC-PCD

Em 1984, o Decreto-lei nº 89.817 foi criado pela CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia) e “estabelece as normas a serem observadas por todas as entidades públicas e privadas produtoras e usuárias de serviços cartográficos, de natureza cartográfica e atividades correlatas, sob a denominação de Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.” (Decreto-lei nº 89.817/1984). O artigo oitavo do decreto aborda a questão da avaliação da exatidão posicional de uma carta, estabelecendo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), sendo resumido pelo autor Santos (2010) no Quadro 1.

QUADRO 1 – VALORES DO PEC E DO EP SEGUNDO DECRETO-LEI Nº 89.817/84

| Classe   | Planimetria |         | Altimetria           |                      |
|----------|-------------|---------|----------------------|----------------------|
|          | PEC (mm)    | EP (mm) | PEC                  | EP                   |
| <b>A</b> | 0.5         | 0.3     | 1/2 da equidistância | 1/3 da equidistância |
| <b>B</b> | 0.8         | 0.5     | 3/5 da equidistância | 2/5 da equidistância |
| <b>C</b> | 1.0         | 0.6     | 3/4 da equidistância | 1/2 da equidistância |

FONTE: Decreto nº. 89.817 (1984).

O decreto indica os critérios para classificação, como: noventa por cento dos pontos testados da carta não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido; em relação a altitude, noventa por cento dos pontos isolados de altitude obtidos através de interpolação de curvas de nível também não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido. Para o enquadramento nas classes A, B ou C, o decreto aponta os valores explicitados no Quadro 1.

Santos (2010) aponta que o decreto não determina uma metodologia para sua aplicação, sendo assim várias metodologias foram desenvolvidas tomando como base os valores estabelecidos. Em junho de 2011, em conformidade com a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), foi elaborada pela DSG a especificação técnica que regula e padroniza a aquisição da geometria dos dados geoespaciais vetoriais e

atributos correlacionados, intitulada ET-ADGV (Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais) (Santos et al., 2015). Essa especificação apresenta a criação de uma classe mais restritiva destinada a produtos cartográficos digitais (PCD) (SANTOS et al., 2015) com base no Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

O enquadramento de um produto em uma das classes do PEC-PCD é realizado utilizando a metodologia descrita na Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Esta norma tem como objetivo “fornecer uma forma padronizada para avaliar a qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil” (DSG, 2016). Dividida em três capítulos, a norma aborda no Capítulo I os objetivos e referências normativas, em sequência no Capítulo 2 os conceitos que servem para descrever a qualidade dos dados geoespaciais são apresentados, definindo também os elementos de qualidade e seus descritores (DSG, 2016). O Capítulo III elenca um conjunto de medidas de qualidade dos dados, baseadas em indicadores, classificados de acordo com sua categoria e elementos correspondentes (DSG, 2016) para em seguida, o Capítulo IV apresentar os procedimentos para avaliar a qualidade de cada tipo de produto e por fim, no Capítulo V, é descrito como informar os resultados da qualidade de forma padronizada.

Na ET-CQDG são agrupados elementos de qualidade em cinco categorias: completude, consistência lógica, exatidão posicional, exatidão temporal, e exatidão temática. Em resumo, a norma aponta que segundo Garcia-Balboa (2011), essas categorias agrupam elementos de qualidade similares que descrevem se os dados estão completos (Completude), se estão na posição correta (Exatidão posicional), se os atributos estão corretos (Exatidão temática) e se cumprem com todas as regras lógicas (Consistência lógica).

O capítulo de maior interesse para o presente projeto, é o Capítulo III, sendo que nele são abordadas as medidas de qualidade dos dados, tratando no item 3.4 a questão da exatidão posicional, objeto aqui estudado. Segundo a descrição na ET-CQDG, que cita diretamente Maranhão (2013), a exatidão posicional é obtida a partir da comparação do desvio padrão obtido com o valor correspondente à escala do produto, verificando também se a exatidão posicional se enquadra no mínimo exigido. A obtenção do desvio padrão se dá através do cálculo das diferenças entre as coordenadas do terreno e seus pontos homólogos no produto.

Para a realização das medidas, é apresentada a tabela 21 na norma, descrita como “Medida Padrão de Exatidão Posicional para Produtos Cartográficos Digitais - planimetria (PAP-PCD) Planimétrico”, que pode ser visualizada abaixo (Quadro \*\*):

QUADRO 2 – MEDIDA PAP-PCD PLANIMÉTRICO

| Linha | Componente            | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Nome                  | PAP-PCD planimétrico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2     | Nome alternativo      | Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais - planimetria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3     | Elemento de qualidade | Acurácia posicional absoluta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 4     | Medida básica         | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 5     | Definição             | Instrumento que indica o Padrão de Exatidão Cartográfica para um produto geoespacial baseado no erro máximo admissível (EM) e no erro-padrão (EP) para a planimetria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 6     | Descrição             | <p>O cálculo do PAP-PCD planimétrico segue os seguintes passos:</p> <p>1) Selecionar pontos de controle com precisão pelo menos três vezes superior ao produto que será avaliado. Os pontos devem ser perfeitamente identificados no terreno e no produto. O tamanho da amostra é determinado pelo processo de avaliação</p> <p>2) Calcular o erro em cada componente planimétrica para o universo de pontos considerados. Os pontos do produto que serão testados são identificados pelo sufixo “t” e os pontos de referência (controle)são identificados pelo sufixo “r”.</p> $e_x = x_t - x_r \quad (1)$ $e_y = y_t - y_r \quad (2)$ <p>3) Calcular a componente horizontal dos erros para cada ponto “i” da amostra:</p> $e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2} \quad (3)$ <p>4) Calcular o erro médio quadrático (EMQH) dos erros da amostra:</p> $EMQ_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Hi}^2)}{n}} \quad (4)$ |

|    |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6  | Descrição            | <p>5) Comparar cada valor de <math>e_{H_i}</math> com o erro máximo admissível (EM) da tabela PEC para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM. Se nenhum valor for correspondente o resultado será “não conforme” e encerra-se a medida.</p> <p>6) Comparar o valor de EMQH com o erro-padrão da tabela PEC para a classe identificada no passo 5. Se for menor, o resultado é a classe encontrada no passo 5. Se for maior, caminha-se na tabela PEC até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”.</p> |
| 7  | Parâmetro            | Tabela do PEC contendo: as classes de PEC, erro máximo (EM) e erro-padrão (EP)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 8  | Tipo de valor        | Lista controlada (conforme a tabela PEC do parâmetro)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 9  | Estrutura do valor   | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 10 | Referência da medida | Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (Brasil, 1984)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 11 | Exemplo              | Anexo B.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 12 | Identificador        | CQDG:301                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

FONTE: A autora (2019).

O item 6 do quadro aborda a descrição dos passos que devem ser seguidos para o cálculo do PAP-PCD. Basicamente são quatro os cálculos realizados: erro em cada componente, dados pelas equações (1) e (2); componente horizontal – equação (3); e erro médio quadrático dos erros da amostra – equação (4). A equação 3 depende dos resultados das equações (1) e (2), da mesma forma que a equação (4) necessita dos resultados da equação (3) para ser realizada. As equações (1) e (2) são geradas para cada componente dos pontos de controle, enquanto a equação (3) é gerada para as resultantes dos pontos de controle, e por fim a equação (4) é calculada para a amostra como um todo.

A análise dos resultados obtidos pelas equações consiste em primeiramente comparar o valor de cada componente horizontal com o erro máximo admissível (EM) do quadro da PEC-PCD (Quadro 3), sendo que o produto será enquadrado na classe que tiver pelo menos 90% dos pontos com erro inferior ao EM tabelado. Em seguida, é necessário comparar o erro médio quadrático (EMQH), valor calculado na equação (4), com o erro-padrão da classe enquadrada através da análise do EM. Caso o valor seja maior, deve-se procurar em cada classe até encontrar valor menor. Caso não se enquadre em nenhuma classe, a medida será não conforme.

QUADRO 3 – PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS

| TIPO        | PEC-PCD | 1:1.000 |       | 1:2.000 |       | 1:5.000 |       | 1:10.000 |       |
|-------------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|----------|-------|
|             |         | EM (m)  | EP(m) | EM (m)  | EP(m) | EM (m)  | EP(m) | EM (m)   | EP(m) |
| PLANIMETRIA | A       | 0,28    | 0,17  | 0,56    | 0,34  | 1,40    | 0,85  | 2,80     | 1,70  |
|             | B       | 0,50    | 0,30  | 1,00    | 0,60  | 2,50    | 1,50  | 5,00     | 3,00  |
|             | C       | 0,80    | 0,50  | 1,60    | 1,00  | 4,00    | 2,50  | 8,00     | 5,00  |
|             | D       | 1,00    | 0,60  | 2,00    | 1,20  | 5,00    | 3,00  | 10,00    | 6,00  |

Fonte: Adaptada de DSG (2016).

O Quadro 2 é a tabela base para a realização das análises do PAP-PCD. Nela são apresentados valores de erro médio (EM) e erro padrão (EP) para as classes “A”, “B”, “C” e “D” nas escalas 1:1.1000, 1:2.000, 1:5.000 e 1:10.000.

## 2.2 TAMANHO DA POPULAÇÃO (N) E TAMANHO DA AMOSTRA (N)

A definição do tamanho da população é descrita no item “4.2.1 - AMOSTRAGEM DE PONTOS DE CONTROLE POSICIONAL” da ET-CQDG. A especificação técnica aponta que a determinação deve ser realizada através da divisão do produto em células e posterior análise célula a célula para verificar se é possível ter pelo menos um ponto de controle foto identificável no terreno na célula analisada, sendo válidas para a população apenas as células em que seja possível esse tipo de identificação. Segundo a ET-CQDG, o procedimento descrito deve ser aplicado no caso de controle posicional planimétrico.

O cálculo do tamanho da amostra adotado é definido por Júnior, Monico e Tachibana (2004) através da equação (5), sendo o resultado o número mínimo que deve ter a amostra para uma população finita ao se fazer a estimação com erro máximo, a um nível de confiança desejado ( $\alpha$ ), apontam os autores.

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 N}{(N - 1) * \varepsilon^2 + z^2 \sigma^2} \quad (5)$$

Sendo:

- $n$  - Tamanho da amostra;
- $N$  - Tamanho da população;

- $z$  - Variável aleatória obtida a partir da tabela normal em função do intervalo de confiança;
- $\sigma^2$  - Variância da população;
- $\varepsilon^2$  - Erro máximo permissível.

## 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Baseando-se em Galo e Camargo (1994) que citam Merchant (1982) pode-se realizar as análises estatísticas para tendência e precisão. A análise de tendência, ou exatidão, será realizada através do teste *t de Student*, enquanto a análise de precisão será realizada através do teste estatístico *Qui-Quadrado*. Os autores explanam sobre a importância de se diferenciar exatidão de precisão. “A precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto a exatidão está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos.” (GALO & CAMARGO, 1994).

### 2.3.1 Análise de tendência

A metodologia adotada para a análise estatística de tendência é realizada sobre as discrepâncias ( $\Delta x_i$ ) amostrais (6) entre as coordenadas planimétricas do terreno ( $x_i^r$ ) e do produto ( $x_i$ ), seguido pelo cálculo da média aritmética ( $\Delta \bar{x}$ ) (7) e desvio-padrão das discrepâncias amostrais ( $\sigma_{\Delta x}$ ) (8).

$$\Delta x_i = x_i - x_i^r \quad (6)$$

$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad (7)$$

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \Delta \bar{x})^2} \quad (8)$$

A partir desses resultados é possível calcular o valor de  $t$  amostral ( $t_x$ ) (9) através da divisão do cálculo da média aritmética ( $\Delta \bar{x}$ ) pelo desvio-padrão tabelado conforme PEC ( $\sigma_x$ ) multiplicado pela raiz quadrada do tamanho da amostra, tanto

para as coordenadas x, quanto para as coordenadas y, e também o intervalo de confiança pela fórmula (10):

$$t_x = \frac{\Delta \bar{x}}{\sigma_x} \sqrt{n} \quad (9)$$

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (10)$$

No teste de tendência duas hipóteses podem ser avaliadas:

$$H_0: \Delta \bar{x} = 0, \text{ contra} \quad (11)$$

$$H_1: \Delta \bar{x} \neq 0 \quad (12)$$

Com o valor obtido para “t” é possível verificar se este está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. Caso “t” esteja no intervalo de aceitação, aceita-se a hipótese nula, o que significa que o produto não possui tendência. Enquanto se “t” estiver fora do intervalo de aceitação, deve-se rejeitar a hipótese nula, constatando assim que o produto possui tendência. Galo e Camargo (1994) informam a existência de tendência em alguma direção é causada por algum tipo de problema, mas se o problema for conhecido, é possível minimizar seu efeito através da subtração do seu valor a cada coordenada lida no produto.

### 2.3.2 Análise de precisão

Para a realização da análise de precisão a equação do desvio-padrão (8) pode ser reaproveitada, pois se faz necessário comparar o resultado desta com o erro padrão (EP) esperado, ou seja, o erro padrão tabelado pela PEC-PCD. Com isso é possível analisar a precisão para a classe na qual se deseja realizar o teste. Sendo assim, o teste de hipótese é o seguinte:

$$H_0: \sigma_{\Delta x}^2 = \sigma_x^2 \quad (13)$$

$$H_0: \sigma_{\Delta x}^2 > \sigma_x^2 \quad (14)$$

Uma vez que o erro-padrão (EP) é calculado para a resultante, a fórmula adotada por Galo e Camargo (1994) para o cálculo do erro esperado para componente é:

$$\sigma_x = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (15)$$

Para a realização do cálculo do Qui-Quadrado a fórmula 16 foi utilizada:

$$\chi_x^2 = (n - 1) \frac{\sigma_{\Delta x}^2}{\sigma_x^2} \quad (16)$$

Com o resultado obtido através da fórmula 16 é possível realizar a verificação do intervalo de aceitação:

$$\chi_x^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (17)$$

Se a expressão anterior (17) não for obedecida, rejeita-se a hipótese ( $H_0$ ) de que a ortoimagem atenda à precisão pré-estabelecida.

### 2.3.3 Precisão e exatidão máxima

Adotou-se a metodologia proposta por Delazari et al. (2018) para o cálculo da precisão e exatidão máxima alcançada pelos resultados. Os autores apontam que as fórmulas (9) e (16) foram reescritas nas equações (18) e (19) para que possa ser realizado o cálculo dos valores de desvio-padrão ( $\sigma_x$ ) e variância amostral ( $\sigma_x^2$ ) com base nos valores estatísticos estabelecidos nas tabelas “*t de Student*” ( $t_{n-1, \alpha/2}$ ) (ANEXO A) e “*Qui-Quadrado*” ( $\chi_{n-1, \alpha}^2$ ) (ANEXO B) “onde “n” representa o tamanho da amostra de pontos de verificação e  $\alpha$  corresponde ao nível de significância de 90% conforme estabelecido no PEC-PCD” (DELAZARI et al., 2018)

$$\sigma_x = \frac{\overline{\Delta x}}{t_{n-1, \alpha/2}} \sqrt{n} \quad (18)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_{\Delta x}^2}{\chi_{n-1, \alpha}^2} (n - 1) \quad (19)$$

Os autores apontam que ao comparar os valores máximos de desvio-padrão e variância obtidos nas equações (18) e (19) com os valores do erro padrão conforme “PEC-PCD” para a classe “A” na escala 1:1.000, a precisão e exatidão proporcional pode ser obtida através das equações (20) e (21).

$$Precisão_{(\%)} = \frac{\sigma_x}{EP} \quad (20)$$

$$Exatidão(\%) = \frac{\sigma_x^2}{EP^2} \quad (21)$$

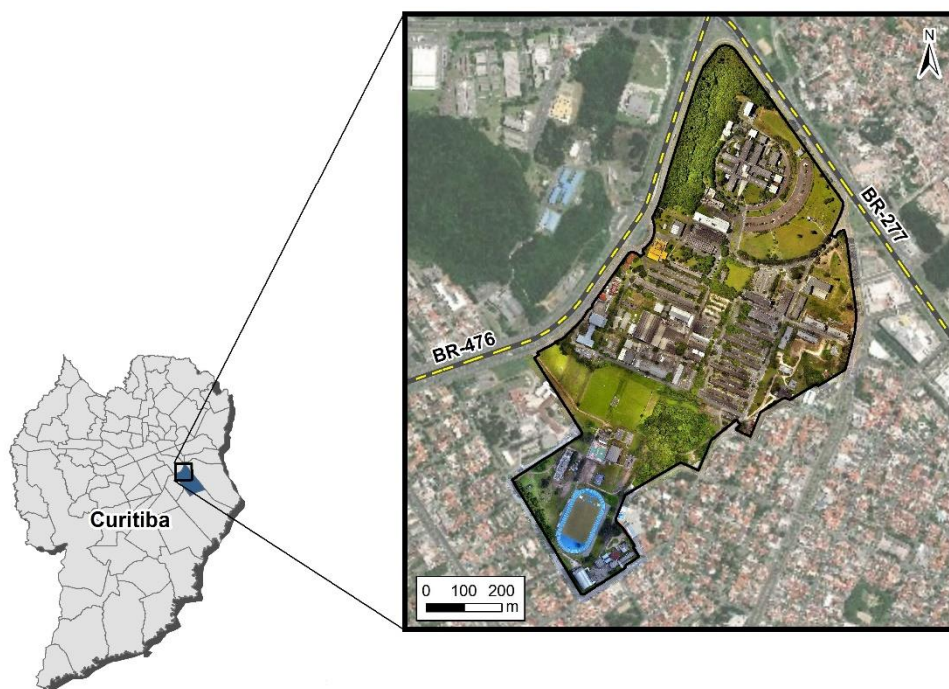
Com os resultados obtidos é possível determinar a precisão e exatidão de forma proporcional em relação à escala 1:1000 estabelecidas no PEC-PCD para a classe “A”. “Este cálculo visa avaliar a qualidade posicional dos resultados obtidos no georreferenciamento, diferentemente dos critérios do PEC-PCD que são aplicados ao produto cartográfico, ou seja, restituição estereofotogramétrica, ortoimagens e modelos digitais de terreno e superfície.” (DELAZARI et al., 2018).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Como já citado, a área de estudo do presente projeto trata-se do campus Centro Politécnico da UFPR, localizado no município de Curitiba – PR.

FIGURA 1 – ÁREA DE ESTUDO



FONTE: A autora (2019).

As análises de qualidade serão realizadas nas ortofotografias geradas para o projeto UFPR CampusMap. Estas foram obtidas através de aerolevantamento e posterior processamento dos dados. O aerolevantamento foi realizado com equipamento VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) modelo Phantom 4 fabricado pela empresa DJI, e foi executado no dia 12 de novembro de 2017, sendo ao total 10 voos realizados para recobrir toda a área do campus Centro Politécnico. O processamento dos dados foi realizado com o programa *Agisoft Photoscan* através das seguintes etapas, segundo as especificações técnicas dos produtos cartográficos gerados: (1) extração e correlação de pontos homólogos utilizando algoritmos de SIFT (*Scale-*

*Invariant Feature Transform*); (2) Cálculo dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos utilizando pontos de controle: distância focal ( $f$ ), coordenadas do ponto principal ( $x_0$ ,  $y_0$ ), coeficientes de distorção radial simétrica ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ) e descentrada ( $p_1$ ,  $p_2$ ).

Para obter o mosaico ortorretificado os procedimentos intermediários de extração e geração de nuvem tridimensional de pontos foram realizados, resultando em densidade de aproximadamente 600 pontos/m<sup>2</sup>, bem como modelo digital de superfície com resolução espacial de 5cm. O processamento e geração do mosaico ortorretificado do bloco de imagens teve resolução no terreno de 5cm e referencial planimétrico SIRGAS 2000, com coordenadas na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22 Sul. As articulações foram geradas para a escala 1:1.000 e 1:500, sendo respectivamente 9 e 26 folhas.

### 3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a realização do presente trabalho foram:

- Astah UML Editor: programa para confecção de diagramas de casos de uso;
- Notepad++ 7.7: editor de texto e de código fonte de código aberto sob a licença GPL (General Public License);
- Instalador Programa livre Python, versão 3.7.0: programa de linguagem de programação computacional;
- Qt Designer 3.8.3: programa de código livre de modelagem de interfaces computacionais a partir de componentes Qt.
- OsGeoW4: aplicativo instalador do QGIS;
- QGIS, versão 3.8.3 - Zanzibar: programa de código livre de sistemas de informação geográfica;
- Ferramentas *Plugin Builder* e *Plugin Reloader*: a primeira auxilia na criação de um novo complemento no QGIS, enquanto a segunda realiza a atualização do complemento toda vez que o usuário a selecionar.

### 3.3 MÉTODOS

A estruturação da metodologia do presente trabalho foi realizada a partir da identificação dos requisitos apresentados no item 2, por sequência pode-se obter as

variáveis que necessitam ser calculadas para a classificação na PEC-PCD, cálculo de população e amostra, testes estatísticos, e a precisão e exatidão máxima. Após elencar esses requisitos, pôde ser proposta uma interface que viabilizou solucionar as questões levantadas, e através da linguagem de programação Python foi realizado o desenvolvimento do complemento pela implementação de funções que permitam a aplicação do protótipo, possibilitando por fim, a realização de teste e análise dos resultados.

### 3.3.1 Identificação dos requisitos

A identificação dos requisitos parte da compreensão inicial do problema, sendo que ao longo do processo a compreensão pode ser alterada, modificando também os requisitos previamente definidos, ou seja, essa identificação não é um processo fixo, pois muitas vezes o sistema pode ser alterado devido a novas possibilidades ou limitações. Para o presente projeto, o levantamento dos requisitos foi realizado através de revisão da norma ET-CQDG, estudo das metodologias de Galo e Camargo (1994), Júnior, Monico e Tachibana (2004) e Delazari et. al (2018), bem como levantamento das necessidades verificadas pelos responsáveis pelo projeto CampusMap. Dessa forma foram identificados quais os problemas a serem solucionados e as necessidades do sistema.

É importante salientar que apenas os usuários do projeto UFPR CampusMap foram levados em consideração devido a impossibilidade de se realizar entrevistas com outros usuários, como por exemplo, possíveis usuários de prefeituras, empresas privadas e profissionais autônomos. Portanto destaca-se que embora a área de estudo esteja vinculada ao projeto em questão, esta avaliação proposta pode ser utilizada por qualquer usuário que tenha interesse e esteja de acordo com a metodologia adotada.

De acordo com os usuários questionados (responsáveis pelo projeto UFPR CampusMap), o problema consiste em realizar o procedimento de análise desenvolvido pela ET-CQDG para as ortoimagens geradas para o projeto piloto do UFPR CampusMap através de um processo simplificado, para então aplicar a mesma metodologia nos produtos gerados para os demais *campi* da Universidade. Para isso os principais requisitos elencados são: geração de quadriculas com tamanho definido pelo usuário, sendo que essa grade gerada será adotada como população, análise

desta grade para excluir as que não farão parte da população, capturar coordenadas no produto, realizar união com dados homólogos no terreno e por fim visualizar os resultados.

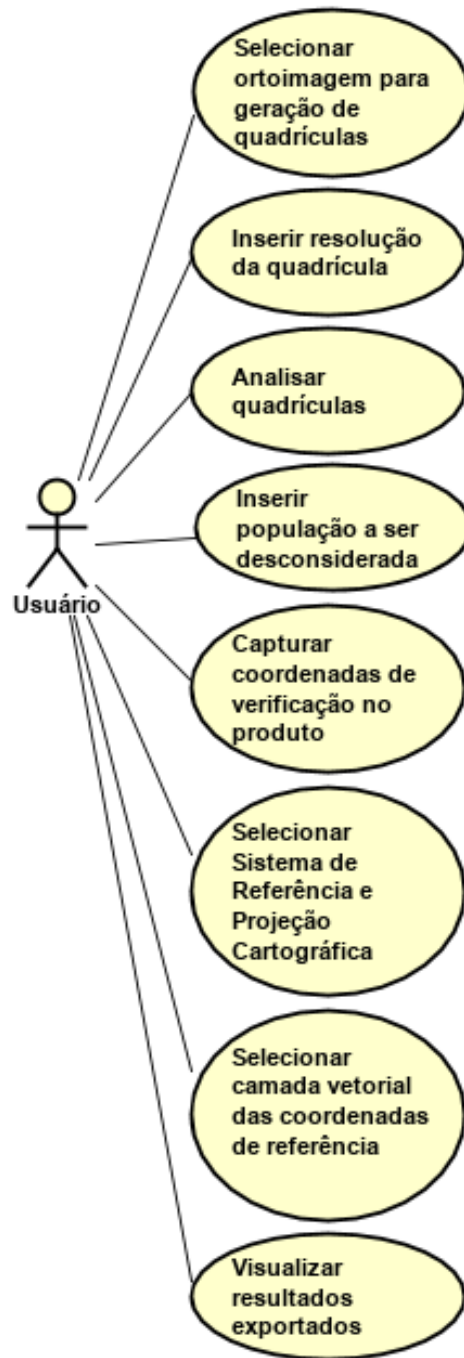
Intrinsecamente, o sistema deverá automaticamente realizar a união dos dois dados vetoriais de entrada coincidindo os pontos homólogos através de uma distância máxima de 6 metros, para em sequência realizar as análises do PEC-PCD e dos testes estatísticos. Este último levando em consideração o nível de confiança estabelecido pelo usuário. A distância máxima de 6 metros foi estabelecida levando em consideração o pior caso da PEC-PCD para grande escala, ou seja, o erro-padrão de classe D da escala 1:10.000.

### 3.3.2 Proposta e implementação da interface

A partir dos requisitos levantados pode-se gerar diagramas de casos de uso para representar as ações a serem realizadas pelo sistema. Segundo Booch (2006), o diagrama de casos de uso é importante para visualizar, especificar e documentar o comportamento de cada elemento do sistema. A utilização desse tipo de diagrama objetivou também facilitar a comunicação entre a desenvolvedora e os usuários. A composição de um diagrama de casos de uso “baseia-se no ator, elemento externo que interage com o sistema; caso de uso que é a interação entre o sistema e o ator; e por último o relacionamento, que representa como os atores estão relacionados com o caso de uso.” (KONNO, 2018). O programa utilizado para geração dos diagramas foi o *Astah Community*, sendo construído um diagrama para a atividade de interação do usuário com o sistema.

A partir do diagrama, foi utilizado o programa QT Designer para desenvolver a interface do sistema. Esse programa permite que o usuário personalize o sistema a partir de botões, ferramentas, visualizações de itens, containers, ferramentas customizadas do QGIS, entre outros. A interface proposta do sistema foi gerada levando em consideração apenas elementos disponibilizados pelo QT Designer. Para os requisitos iniciais identificados, foi gerado o diagrama de casos de uso apresentado na Figura 2.

FIGURA 2 – DIAGRAMA DE CASOS DE USOS - ATIVIDADE DO USUÁRIO

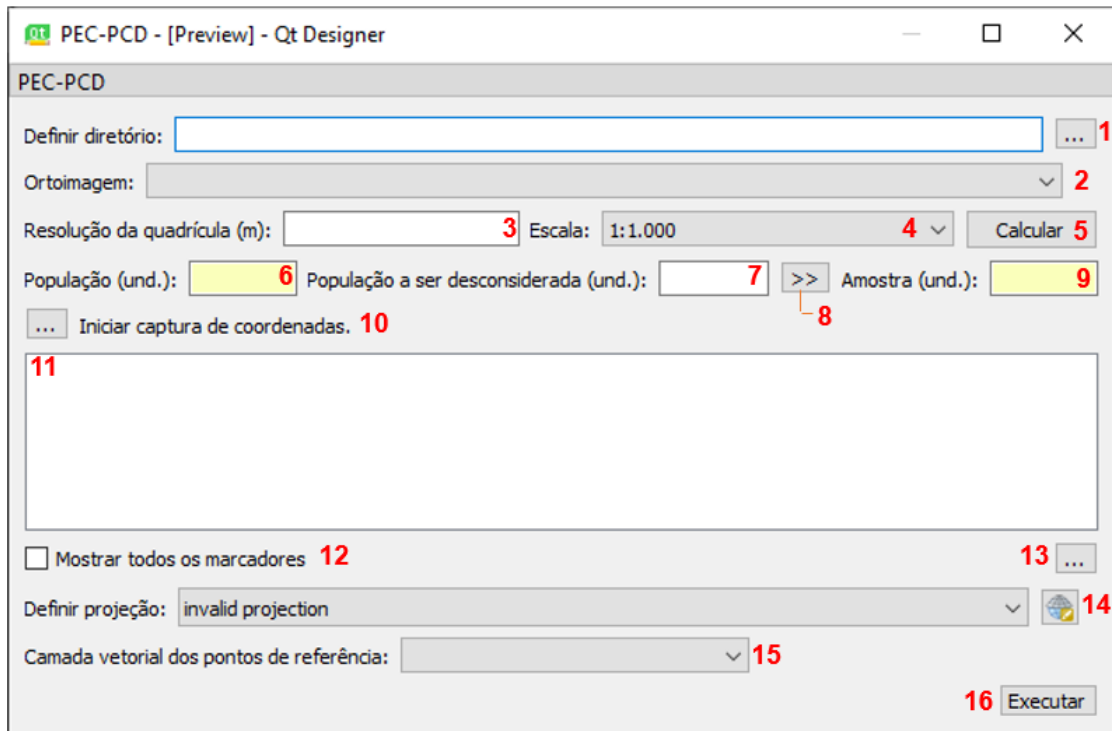


FONTE: A autora (2019).

Optou-se por fazer o processo de captura de coordenadas não dependente do cálculo do tamanho da amostra de forma a não limitar a utilização do complemento. Por exemplo, é indicado que o levantamento dos pontos no terreno seja realizado após a escolha dos pontos no produto, contudo, nem sempre é possível retornar a campo para realizar esse levantamento. Assim, o complemento continua funcional

mesmo se o usuário não obtiver o número indicado de pontos amostrais. Com base no diagrama representado na Figura 2 foi gerada a interface, apresentada na Figura 3.

FIGURA 3 – INTERFACE DESENVOLVIDA



FONTE: A autora (2019).

A interface é composta por botões, *combo-box*, *check-box* e linha de edição. A seguir será realizada a descrição especificado a funcionalidade de cada uma das ferramentas da janela:

1. Definir o diretório em que serão salvos os resultados;
2. Selecionar a camada referente a ortomagem carregada no QGIS;
3. Inserir a resolução espacial da quadrícula a ser gerada;
4. Selecionar a escala em que se deseja saber o número de amostras para realizar a análise;
5. Gerar a grade e população;
6. Visualizar tamanho da população;
7. Inserir o valor (em unidade) de quadrículas a serem desconsideradas;
8. Calcular amostras;
9. Visualizar número de amostras calculado;

10. Habilitar o ícone que possibilita a captura de coordenadas no produto;
11. Tabela dos pontos inseridos no produto;
12. *Check-box* que habilita a visualização de todos os pontos capturados no produto;
13. Excluir ponto selecionado;
14. Selecionar a projeção cartográfica em que deseja trabalhar;
15. Selecionar a camada vetorial das coordenadas dos pontos de referência;
16. Executar o complemento.

Ao selecionar o botão “Executar”, o usuário terá na pasta do diretório selecionado, os resultados gerados pelo complemento.

Para o desenvolvimento da interface foi necessário criar o sistema através da ferramenta *Plugin Builder* do programa QGIS. Essa ferramenta possibilita ao usuário a criação de novos complementos conectados diretamente ao programa, sendo que ao criar um complemento, uma pasta no diretório de complementos do QGIS é gerada, e nela estão os arquivos modelos que foram editados através da linguagem Python para dar as funcionalidades previamente levantadas ao complemento. O acesso à ferramenta através do QGIS é feito pelo ícone gerado após a criação do complemento, que fica localizado nos painéis da parte superior do QGIS. Após qualquer modificação no código é necessário recarregar o complemento, de forma que foi utilizada a ferramenta *Plugin Reloader* para realizar tal atividade.

Na pasta do complemento criado, o arquivo referente ao design da interface vem definido como um modelo padrão, apenas com botões de “OK” e “CANCELAR”. Esse arquivo pode ser substituído pela interface gerada conforme Figura 3, ou pode ser modificado de forma a ficar com a interface similar à proposta de interface. Em caso de substituição, cuidados quanto a nomeação dos arquivos deve ser levada em conta para o bom funcionamento. Ao longo do estudo a interface sofreu alterações devido à demanda dos usuários, sendo aprimorada sempre que necessário.

Com o complemento criado e sua interface pré-definida, foi possível dar início ao processo de implementação das funcionalidades. Esse processo se deu em duas etapas:

- Geração de modelos através do modelador gráfico do QGIS;
- Implementação dos modelos e demais funcionalidades através da linguagem Python.

Segundo a documentação do programa QGIS, o modelador gráfico auxilia o usuário que necessita realizar análises integradas, agrupando uma cadeia de processos em um único processo que é executado de uma só vez, o que economiza tempo e esforço tanto computacional quanto do desenvolvedor. Para ter acesso ao modelador, é necessário acessar o menu *processamento*. A documentação aponta que a criação de um modelo envolve dois passos, sendo o primeiro a definição dos dados de entrada (camada do tipo/estrutura raster ou matricial, camada vetorial, cadeia de texto, campo da tabela, tabela, extensão, número, booleano, arquivo) e o segundo a definição do fluxo de trabalho, que envolve os algoritmos que serão utilizados. Os modelos foram gerados levando em consideração a pesquisa científica realizada no item 2.

Após a geração dos modelos, foi possível dar início a implementação destes através da linguagem Python. Com inserções de linhas de programação nos scripts, foi possível realizar as conexões entre os modelos e a interface gráfica, bem como inserir demais funcionalidades necessárias para o pleno funcionamento do sistema. As bibliotecas Python utilizadas foram:

- processing – utilizada para realizar a conexão entre os modelos criados no QGIS e o *script* em Python;
- os – biblioteca utilizada para gerenciar diretórios;
- statistics e math – utilizadas para realização de cálculos inerentes ao processo;
- openpyxl – biblioteca utilizada para gerar planilha.

Tendo em vista que o QGIS é um programa de código-fonte aberto, foi possível reaproveitar o código de um complemento existente para a realização da captura de coordenadas e visualização destas em uma tabela, sendo possível inserir um ID para cada ponto, visualizar todas as coordenadas já capturadas e excluir uma ou várias coordenadas capturadas. O complemento em questão chama-se “Lat Lon Tools”, sendo seu repositório encontrado no seguinte link:

<https://github.com/NationalSecurityAgency/qgis-latlontools-plugin/#readme>.

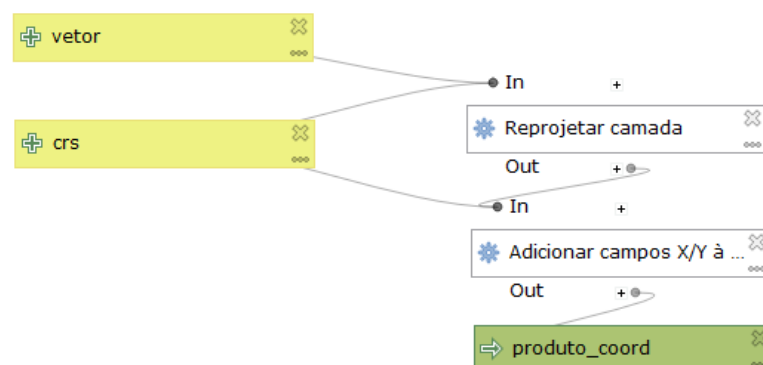
Cinco foram os modelos criados no QGIS para facilitar a programação do sistema, sendo eles:

- Gerar quadrículas para ortoimagem;
- Projetar vetor de pontos para projeção cartográfica selecionada;
- Gerar colunas de geometria para vetor das coordenadas do terreno;
- União por proximidade entre os pontos do produto e pontos do terreno;
- Análise PEC-PCD;
- As demais funções e conexões foram realizadas através da linguagem de programação Python.

A geração de quadrículas para a área de estudo é baseada no método de inspeção por amostragem descrito pela ET-CQDG no capítulo 4.2 da especificação técnica. A norma aponta que o particionamento do produto a ser avaliado deve ser feito em células de 4 x 4 cm na escala do produto, ou seja, em produtos cuja escala é 1:10.000 a célula terá 400 x 400 m, enquanto em um produto na escala 1:1.000 a célula terá 40 x 40 m, como é o caso do teste realizado no capítulo 4.1. A partir das quadrículas geradas, a norma indica que deve ser feita análise célula a célula, a fim de determinar se esta deve ou não fazer parte da população que será submetida a amostragem.

O modelo referente a “Projetar vetor de pontos para projeção cartográfica selecionada” pode ser visualizado na Figura 4.

FIGURA 4 – PROJETER VETOR DE PONTOS PARA PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA SELECIONADA



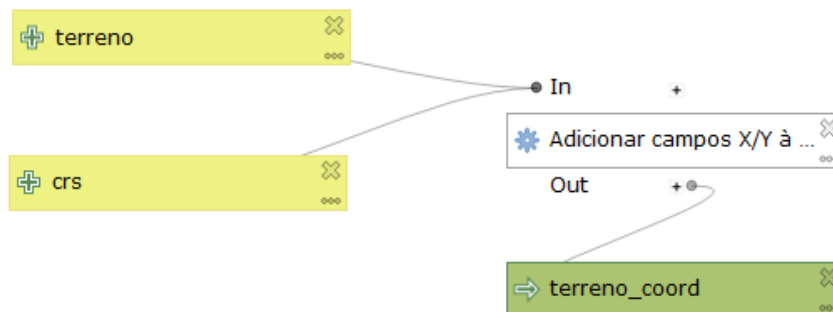
FONTE: A autora (2019).

A partir desse modelo é possível realizar a projeção das coordenadas capturadas no produto para a projeção cartográfica de interesse do usuário, sendo

criado no vetor de saída os campos X e Y referente às coordenadas planimétricas de cada ponto lido.

O próximo modelo “Gerar colunas de geometria para vetor das coordenadas do terreno” (Figura 5), é um modelo simples que cria as colunas X e Y no vetor de entrada referente aos pontos do terreno. Esse modelo foi necessário para identificar as colunas de geometria de forma a conseguir realizar cálculos com as coordenadas do terreno.

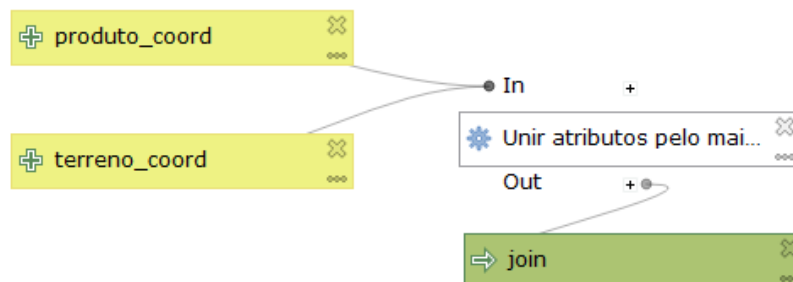
FIGURA 5 – GERAR COLUNAS DE GEOMETRIA PARA VETOR DAS COORDENADAS DO TERRENO



FONTE: A autora (2019).

Com os resultados dos modelos representados nas Figuras 4 e 5 foi possível criar o modelo “União por proximidade entre os pontos do produto e pontos do terreno” (Figura 6), que realiza a união em uma mesma camada dos atributos das coordenadas do produto com as do terreno.

FIGURA 6 – UNIÃO POR PROXIMIDADE ENTRE OS PONTOS DO PRODUTO E PONTOS DO TERRENO

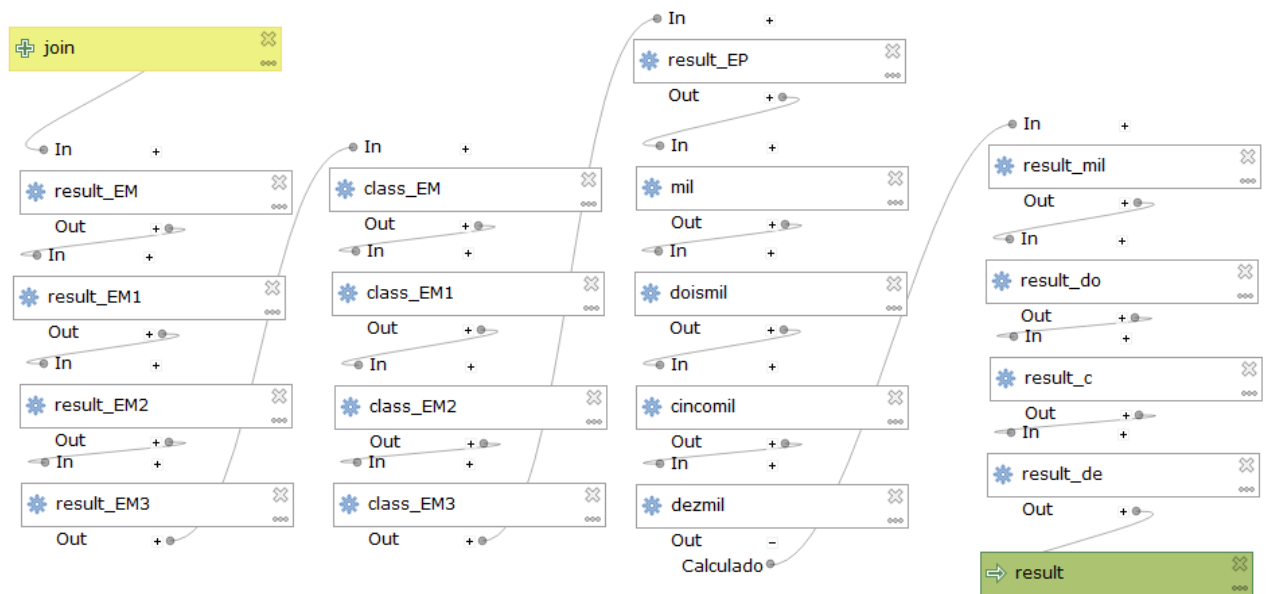


FONTE: A AUTORA (2019).

A partir do resultado obtido pelo modelo apresentado na Figura 6 foi possível realizar os cálculos das equações (1), (2) e (3) que correspondem ao erro em cada

componente planimétrica e componente horizontal, através da linguagem Python. Com esses novos dados armazenados no vetor de saída do modelo “União por proximidade entre os pontos do produto e pontos do terreno” pode-se dar sequência nas análises necessárias para o enquadramento no PEC-PCD através do modelo “Análise PEC-PCD”.

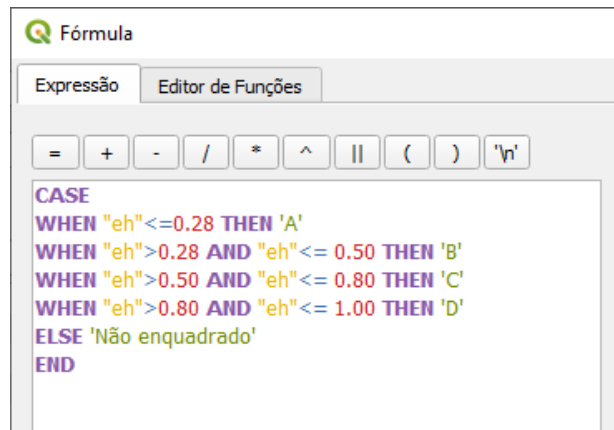
FIGURA 7 – ANÁLISE PEC-PCD



FONTE: A autora (2019).

Na primeira coluna do modelo é realizada a análise de cada valor, já calculado, da componente horizontal a partir de condicionantes estabelecidas (exemplo na Figura 8). Para cada escala, é realizada uma comparação do valor obtido pela equação (3) para as classes de intervalo definido pela PEC-PCD, para então, um novo valor referente a classificação, ser inserido em uma nova coluna.

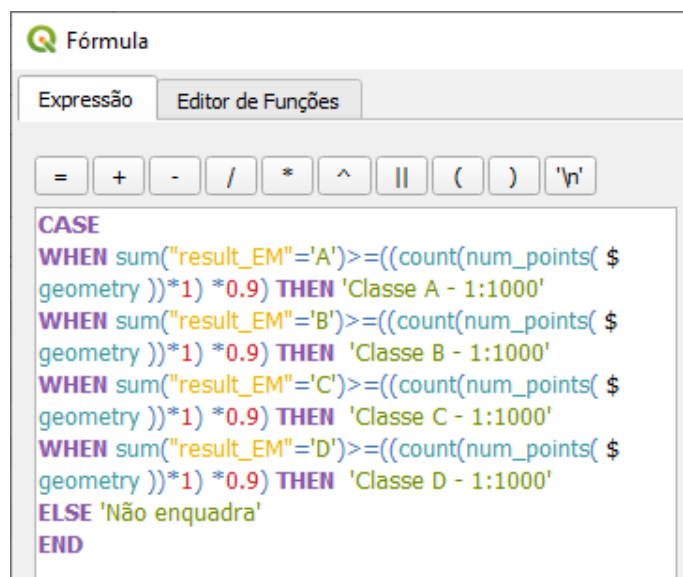
FIGURA 8 – EXEMPLO DE CONDICONANTE DA CONDICONANTE HORIZONTAL



FONTE: A autora (2019).

A segunda coluna utiliza dos resultados da primeira coluna para enquadrar se pelo menos 90% dos pontos estão com valor da componente horizontal menor que o erro máximo admissível (EM) do PEC-PCD, conforme condicionante exemplo na Figura 9.

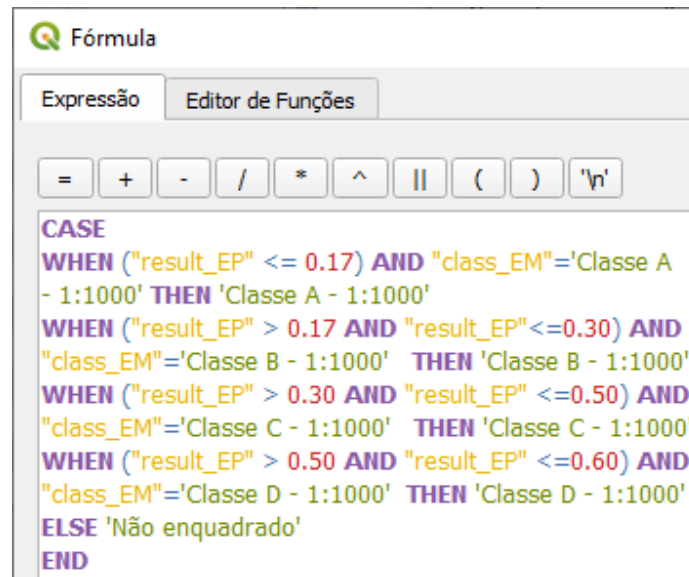
FIGURA 9 – EXEMPLO DE CONDICIONANTE PARA ENQUADRAMENTO ERRO MÉDIO



FONTE: A autora (2019).

Em seguida, na coluna 3, no primeiro item é calculado o erro médio quadrático da amostra (equação 4) para então utilizá-lo em conjunto com os resultados obtidos na coluna 2 de forma a obter o enquadramento definitivo no PEC-PCD. A Figura 10 exemplifica situação acima descrita.

FIGURA 10 – ENQUADRAMENTO DEFINITIVO PEC-PCD



FONTE: A autora (2019).

Como último procedimento desse modelo, foi armazenado o EP enquadrado do PEC-PCD através de condicionante exemplificado na Figura 11.

FIGURA 11 – EP ENQUADRADO NO PEC-PCD



FONTE: A autora (2019).

Na sequência, através de linguagem de programação Python, foram calculados os testes estatísticos *t de Student* e *Qui-Quadrado*. Todos os resultados são armazenados em um relatório pdf que é exportado assim que o usuário executa o complemento.

### 3.3.3 Documentação

Os arquivos necessários para realizar a instalação do programa no QGIS, bem como o manual de instalação e utilização (APÊNDICE I) podem ser encontrados no GitHub através do seguinte link: <https://github.com/larissapinto/> no repositório chamado PEC-PCD.

### 3.3.4 Análise dos resultados

O teste para análise dos resultados gerados pelo complemento foi realizado com uma ortoimagem na escala 1:1.000 da área de estudo. A validação foi feita através de comparação dos resultados do complemento com resultados obtidos pelo programa para avaliação da exatidão posicional em dados cartográficos GeoPEC, desenvolvido por Santos (2010) e planilha calculada isoladamente.

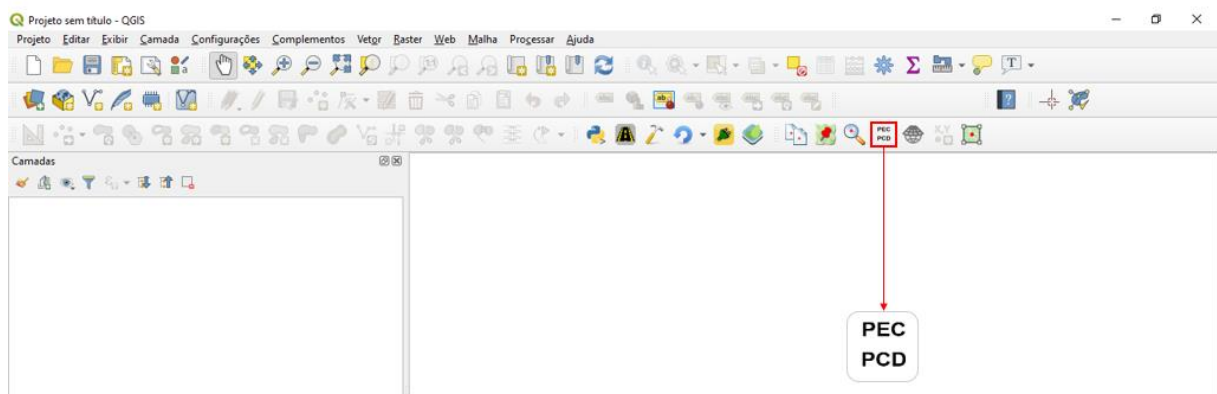
## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 TESTE COM O COMPLEMENTO

Para realizar a validação do complemento criado, um teste com uma ortoimagem na escala 1:1000 da área de estudo foi realizado, utilizando a rede topográfica já instalada no campus Centro Politécnico como pontos de verificação.

Ao abrir o programa QGIS é possível ter acesso ao complemento através do ícone “PEC-PCD” que pode ser encontrado no menu superior do programa, como mostra a Figura 12.

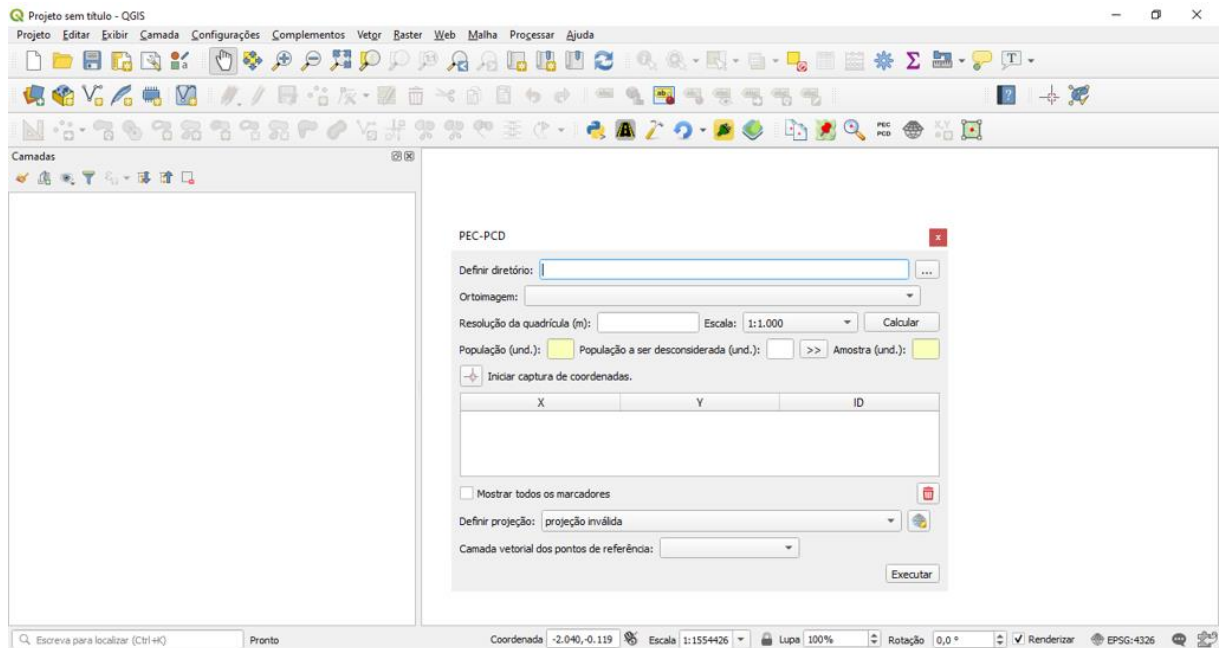
FIGURA 12 – VISUALIZAÇÃO GERAL DO SOFTWARE QGIS



FONTE: A autora (2019).

Ao clicar no ícone, o usuário terá acesso a ferramenta em si, podendo iniciar o processo para obter a análise de precisão e exatidão de uma determinada ortoimagem.

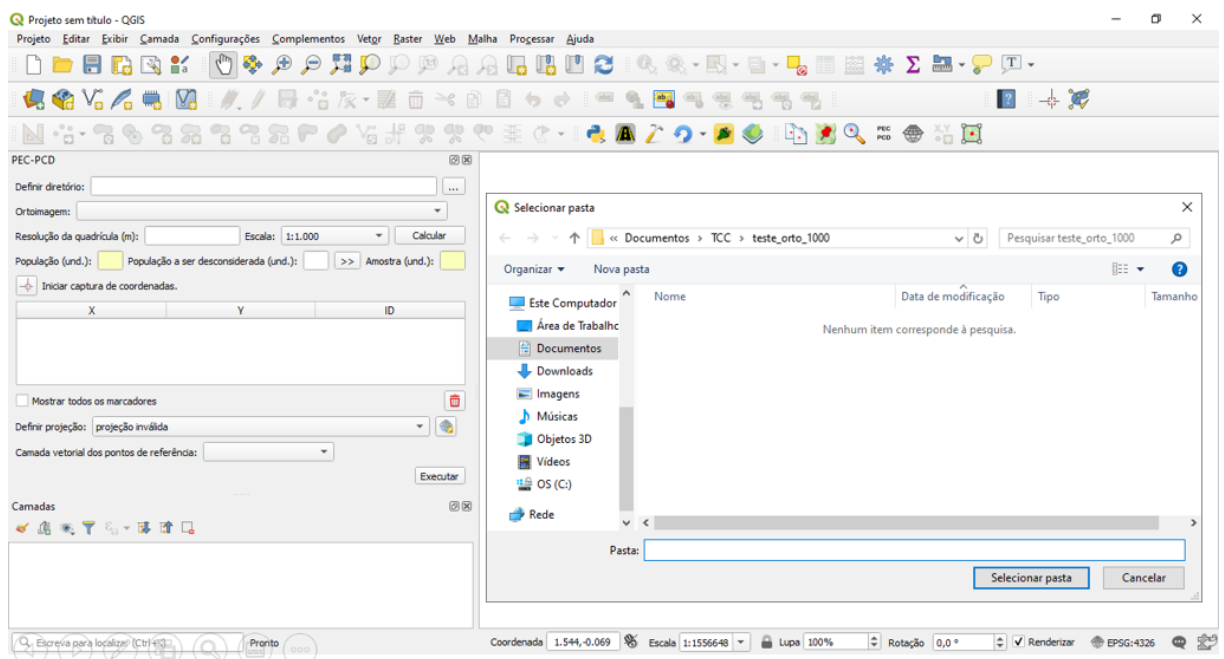
FIGURA 13 – VISUALIZAÇÃO DA JANELA DO COMPLEMENTO



FONTE: A autora (2019).

Inicialmente é necessário definir o diretório em que serão salvos os resultados gerados para o teste realizado. Sendo assim, ao clicar no ícone é possível selecionar a pasta de destino.

FIGURA 14 – DEFINIR DIRETÓRIO



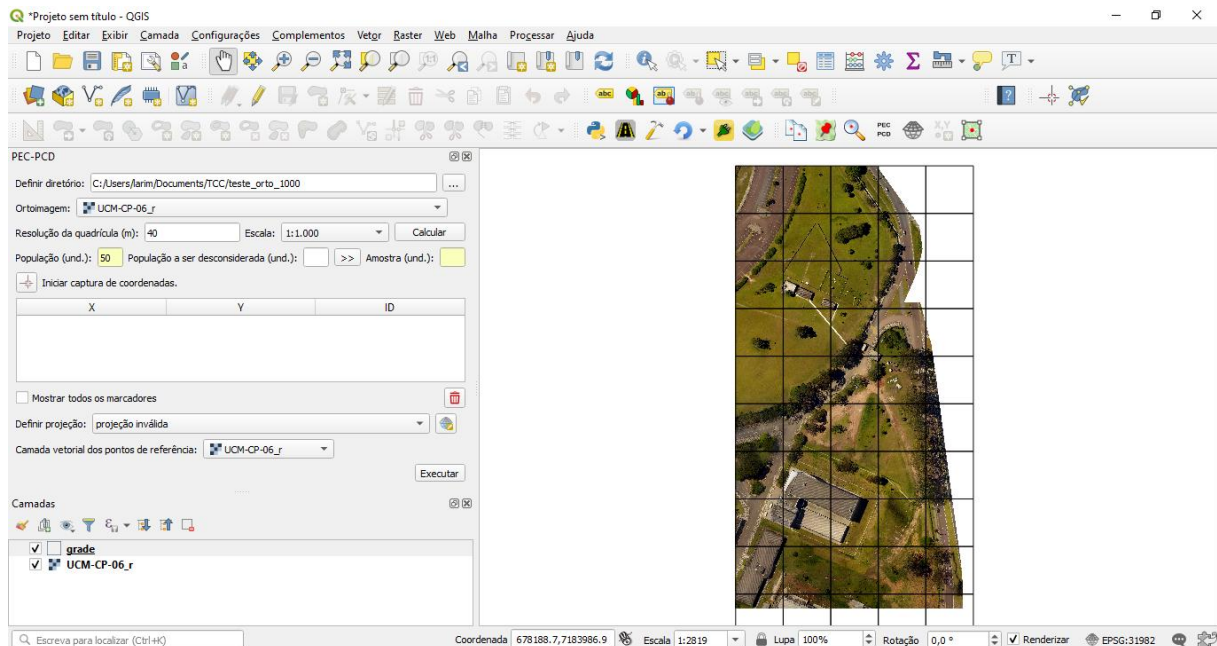
FONTE: A autora (2019).

Tendo o diretório definido, é possível dar início ao processo de cálculo do tamanho da amostra, sendo necessário carregar a ortoimagem que será testada, escolher a largura da grade gerada e escala em que será realizado o teste de amostragem.

Uma vez que a amostra é definida para a população, caso o usuário não utilize o valor calculado de amostras deve-se compreender que a população submetida à amostragem de fato não será analisada a um grau de significância de 90%.

Nos casos em que a área de estudo seja pequena para a proporção de tamanho de quadrícula indicado pela norma ET-CQDG, o usuário pode arbitrar um valor para este tamanho que julgue coerente para realizar o particionamento da área de estudo.

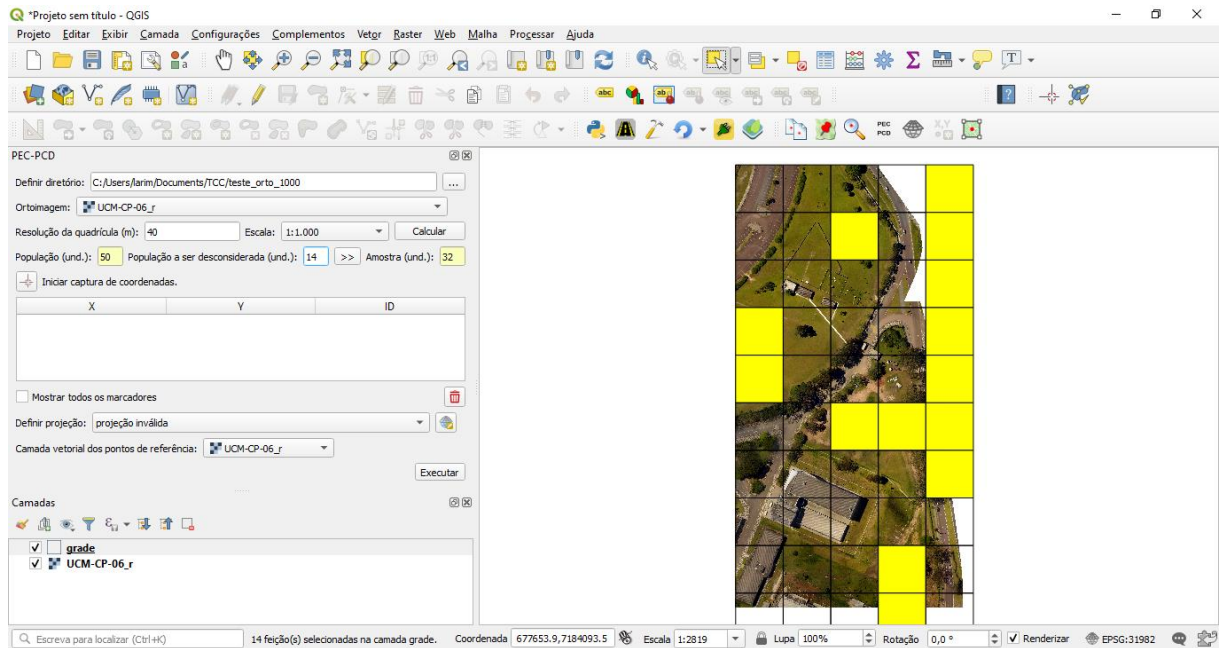
FIGURA 15 – GERAR QUADRÍCULAS



FONTE: A autora (2019).

Como pode ser visualizado na Figura 15, ao ser inserido o valor para grade de 40 m, a população inicial é de 50. Contudo, visivelmente foram geradas quadrículas para áreas além da área de estudo, bem como existem quadrículas em que não é possível realizar a fotointerpretação de um ponto. Então para desconsiderar essas quadrículas do cálculo de amostragem, o usuário deve inserir no campo “População a ser desconsiderada” a quantidade de quadrículas que não serão consideradas como parte da população, sendo assim gerado valor de amostras.

FIGURA 16 – VALOR CALCULADO PARA AMOSTRA

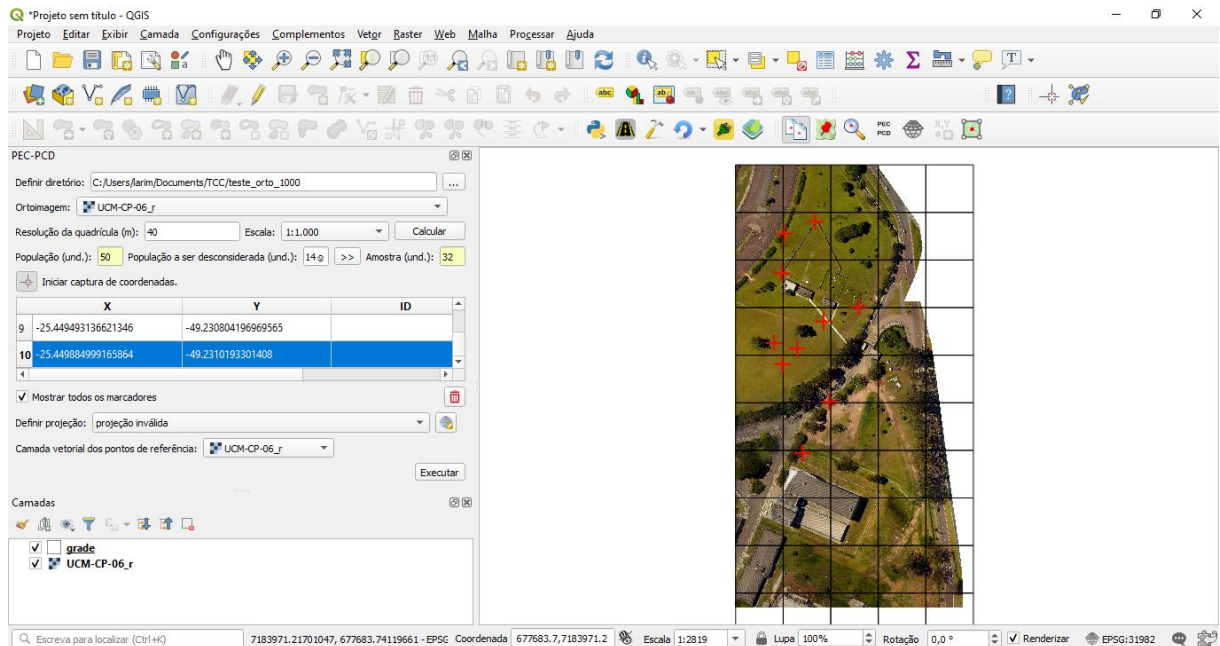


FONTE: A autora (2019).

As quadriculas em amarelo representam as que foram excluídas da população inicial, tendo como resultado um número amostral, para esse exemplo, de 8. Como já citado, a ferramenta foi programada para que o cálculo do número de amostras não seja uma condicionante para a captura de coordenadas, de forma a não limitar o usuário que não possua quantidade de pontos de verificação igual ou superior ao número de pontos amostrais calculado.

Na sequência é dado início ao processo de captura de coordenadas no produto. Cada ponto capturado é armazenado na tabela, sendo possível realizar a identificação do ponto inserindo um “ID”, selecionar uma linha e excluir caso seja esse o interesse do usuário. Para complementar, ao clicar no *check-box* abaixo da tabela, o usuário pode visualizar uma marcação em todos os locais que foram coletadas coordenadas.

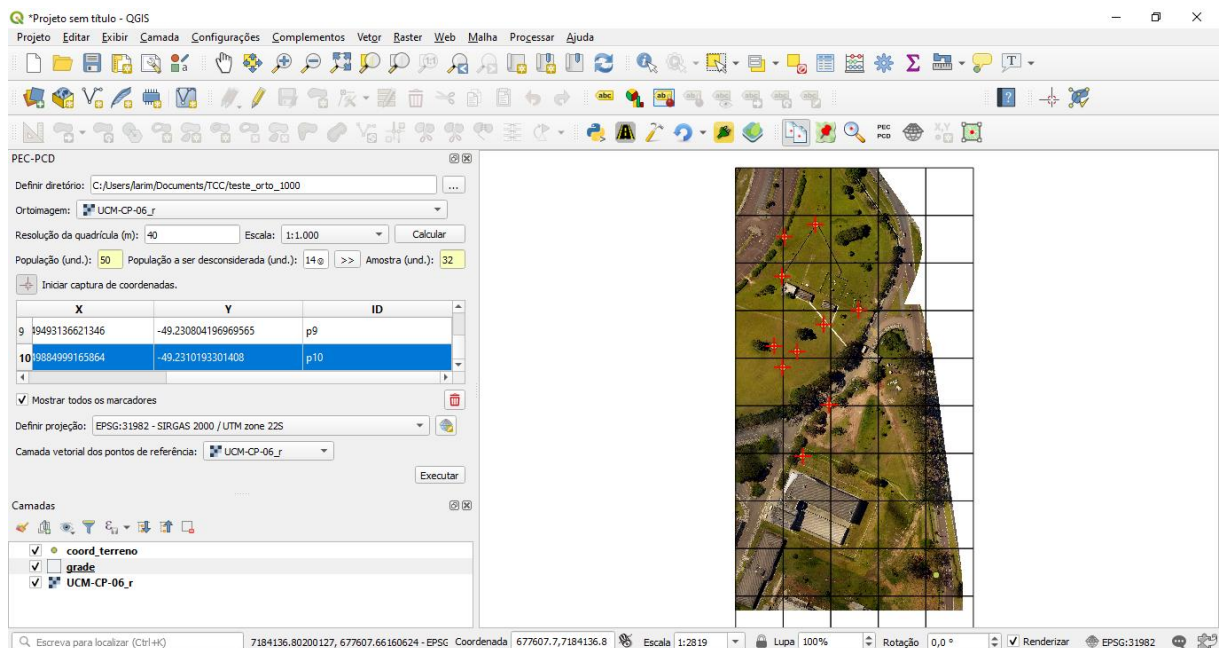
FIGURA 17 – CAPTURAR COORDENADAS



FONTE: A autora (2019).

Na sequência o usuário deve definir o sistema de referência e projeção cartográfica para os dados e inserir o vetor com os pontos com coordenadas do terreno homólogos aos capturados.

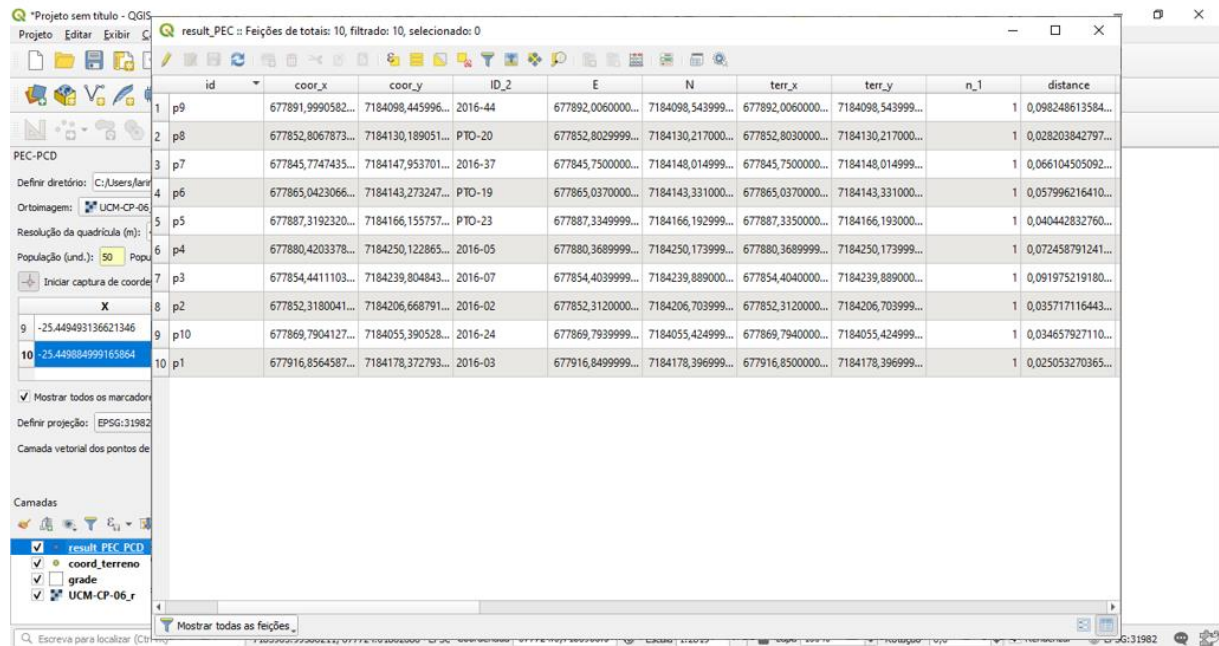
FIGURA 18 – DEFINIR PROJEÇÃO E COORDENADAS DO TERRENO



FONTE: A autora (2019).

Após essa etapa o usuário deverá selecionar o ícone “Executar” para gerar os resultados. Na tela, será exportado um novo arquivo em formato ESRI (*shapefile*) que contém os resultados intermediários gerados através dos modelos apresentados no item 3.3.2. Ao visualizar a tabela de atributos, o usuário visualiza as coordenadas do produto com a identificação inserida no ato da captura dos pontos, as coordenadas do terreno com sua identificação e os demais cálculos realizados pelos modelos.

FIGURA 19 – TABELA DE ATRIBUTOS COM RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS PARTE I



|    | id  | coord_x           | coord_y           | ID_2    | E                 | N                 | terr_x            | terr_y            | n_1 | distance          |
|----|-----|-------------------|-------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|
| 1  | p9  | 677891,9990582... | 7184098,445996... | 2016-44 | 677892,0060000... | 7184098,543999... | 677892,0060000... | 7184098,543999... | 1   | 0,098248613584... |
| 2  | p8  | 677852,8067873... | 7184130,189051... | PTO-20  | 677852,8029999... | 7184130,217000... | 677852,8030000... | 7184130,217000... | 1   | 0,028203842797... |
| 3  | p7  | 677845,7747435... | 7184147,953701... | 2016-37 | 677845,7500000... | 7184148,014999... | 677845,7500000... | 7184148,014999... | 1   | 0,066104505092... |
| 4  | p6  | 677865,0423066... | 7184143,273247... | PTO-19  | 677865,0370000... | 7184143,331000... | 677865,0370000... | 7184143,331000... | 1   | 0,057996216410... |
| 5  | p5  | 677887,3192320... | 7184166,155757... | PTO-23  | 677887,3349999... | 7184166,192999... | 677887,3350000... | 7184166,193000... | 1   | 0,040442832760... |
| 6  | p4  | 677880,4203378... | 7184250,122865... | 2016-05 | 677880,3689999... | 7184250,173999... | 677880,3689999... | 7184250,173999... | 1   | 0,072458791241... |
| 7  | p3  | 677854,4411103... | 7184239,804843... | 2016-07 | 677854,4039999... | 7184239,889000... | 677854,4040000... | 7184239,889000... | 1   | 0,091975219180... |
| 8  | p2  | 677852,3180041... | 7184206,668791... | 2016-02 | 677852,3120000... | 7184206,703999... | 677852,3120000... | 7184206,703999... | 1   | 0,035717116443... |
| 9  | p10 | 677869,7904127... | 7184055,390528... | 2016-24 | 677869,7939999... | 7184055,424999... | 677869,7940000... | 7184055,424999... | 1   | 0,034657927110... |
| 10 | p1  | 677916,8564587... | 7184178,372793... | 2016-03 | 677916,8499999... | 7184178,396999... | 677916,8500000... | 7184178,396999... | 1   | 0,025053270365... |

FONTE: A autora (2019).

FIGURA 20 – TABELA DE ATRIBUTOS COM RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS PARTE II

result\_EM :: Feições de totais: 10, filtrado: 10, selecionado: 0

|    | ex                | ey                | eh                | sult_E | sult_EP | sult_EP | sult_EP | class_EM          | class_EM1         | class_EM2         | class_EM3          | result_EP  |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|
| 1  | 0,006458731018... | -0,02420642785... | 0,025053270365... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 2  | 0,006004121387... | -0,03520884737... | 0,035717116443... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 3  | 0,037110381061... | -0,08415616769... | 0,091975219180... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 4  | 0,051337873679... | -0,05113412905... | 0,072458791241... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 5  | -0,01576790679... | -0,03724239300... | 0,040442832760... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 6  | 0,005306601757... | -0,05775293149... | 0,057996216410... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 7  | 0,024743532994... | -0,06129896547... | 0,066104505092... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 8  | 0,003787388326... | -0,02794838882... | 0,028203842797... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 9  | -0,00694174470... | -0,09800307266... | 0,098248613584... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |
| 10 | -0,00358724896... | -0,03447177913... | 0,034657927110... | A      | A       | A       | A       | Classe A - 1:1000 | Classe A - 1:2000 | Classe A - 1:5000 | Classe A - 1:10000 | 0,06052... |

Mostrar todas as feições

FONTE: A autora (2019).

Resultados como as discrepâncias entre as coordenadas x (campo ex) e y (campo ey) e sua resultante (campo eh) podem ser visualizados na Figura 18, bem como demais resultados intermediários que serviram de apoio para a análise final. O relatório exportado na pasta possui formato planilha Excel (APÊNDICE II), como pode ser visualizado na Figura 19.

FIGURA 21 – RELATÓRIO GERADO PARTE I

|    | A                                                    | B                                                 | C     | D                       | E | F            | G                       | H |
|----|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------|-------------------------|---|--------------|-------------------------|---|
| 1  | <b>AVALIAÇÃO DE PRECISÃO E EXATIDÃO PLANIMÉTRICA</b> |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 2  | <b>RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO</b>                    |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 3  |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 4  |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 5  |                                                      | População                                         |       | 36                      |   |              |                         |   |
| 6  |                                                      | Amostra calculada                                 |       | 32                      |   |              |                         |   |
| 7  |                                                      | Amostra utilizada                                 |       | 10                      |   |              |                         |   |
| 8  |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 9  |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 10 |                                                      | <b>Estatísticas básicas da amostra</b>            |       |                         |   |              |                         |   |
| 11 |                                                      | X (m)                                             |       | Y (m)                   |   |              |                         |   |
| 12 |                                                      | Média                                             | 0,011 | -0,051                  |   |              |                         |   |
| 13 |                                                      | Desvio-pa                                         | 0,021 | 0,025                   |   |              |                         |   |
| 14 |                                                      | Variância                                         | 0,000 | 0,001                   |   |              |                         |   |
| 15 |                                                      | EMQ                                               | 0,061 |                         |   |              |                         |   |
| 16 |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 17 |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 18 |                                                      | <b>Análise de tendência - <i>t de Student</i></b> |       |                         |   |              |                         |   |
| 19 |                                                      | <b><i>t de Student</i> tabelado</b>               |       | 1,833                   |   |              |                         |   |
| 20 |                                                      | T-student                                         |       | Eixo x                  |   | T-student    | Eixo y                  |   |
| 21 |                                                      | 1:1000                                            | 0,202 | Não apresenta tendência |   | 0,951        | Não apresenta tendência |   |
| 22 |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 23 |                                                      |                                                   |       |                         |   |              |                         |   |
| 24 |                                                      | <b>Análise da precisão</b>                        |       |                         |   |              |                         |   |
| 25 |                                                      | <b>Qui-Quadrado tabelado</b>                      |       | 4,168                   |   |              |                         |   |
| 26 |                                                      | Qui-Quadrado                                      |       | Eixo x                  |   | Qui-Quadrado | Eixo y                  |   |
| 27 |                                                      | 1:1000                                            | 0,268 | Hipótese aceita         |   | 0,375        | Hipótese aceita         |   |

FONTE: A autora (2019).

Apresentado em duas figuras, o relatório do processamento exportado apresenta a população, amostra, amostra utilizada, estatísticas básicas, análise de tendência *t de Student*, análise de exatidão Qui-Quadrado (representados na Figura 19), classificação de acordo com o PEC-PCD e por fim precisão e exatidão máxima (Figura 20).

FIGURA 22 – RELATÓRIO GERADO PARTE II

|    | A | B                            | C                                          | D                       | E       | F            | G                       | H |
|----|---|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|---------|--------------|-------------------------|---|
| 16 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 17 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 18 |   |                              | <b>Análise de tendência - t de Student</b> |                         |         |              |                         |   |
| 19 |   | <b>t de Student tabelado</b> |                                            | 1,833                   |         |              |                         |   |
| 20 |   | T-student                    |                                            | Eixo x                  |         | T-student    | Eixo y                  |   |
| 21 |   | 1:1000                       | 0,202                                      | Não apresenta tendência |         | 0,951        | Não apresenta tendência |   |
| 22 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 23 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 24 |   |                              | <b>Análise da precisão</b>                 |                         |         |              |                         |   |
| 25 |   | <b>Qui-Quadrado tabelado</b> |                                            | 4,168                   |         |              |                         |   |
| 26 |   | Qui-Quadrado                 |                                            | Eixo x                  |         | Qui-Quadrado | Eixo y                  |   |
| 27 |   | 1:1000                       | 0,268                                      | Hipótese aceita         |         | 0,375        | Hipótese aceita         |   |
| 28 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 29 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 30 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 31 |   | <b>Classe PEC-PCD</b>        |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 32 |   | 1:1000                       | Classe A                                   |                         |         |              |                         |   |
| 33 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 34 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 35 |   |                              | <b>Precisão e exatidão máxima</b>          |                         |         |              |                         |   |
| 36 |   | Escala para Precisão:        |                                            |                         | 559,022 |              |                         |   |
| 37 |   | Escala para Exatidão:        |                                            |                         | 52,194  |              |                         |   |
| 38 |   | Escala máxima:               |                                            |                         | 1/ 600  |              |                         |   |
| 39 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 40 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 41 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
| 42 |   |                              |                                            |                         |         |              |                         |   |
|    |   |                              | PEC-PCD                                    |                         |         |              |                         |   |

FONTE: A autora (2019).

A planilha resultado e o arquivo vetorial gerado são encontrados no mesmo diretório que foi definido no primeiro passo da execução do complemento.

#### 4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

De forma a avaliar os cálculos programados para o complemento, foi realizada a comparação dos resultados gerados pelo complemento com o programa GeoPEC e dados calculados através de planilha excel.

O algoritmo do GeoPEC foi desenvolvido seguindo a metodologia proposta por normas/padrões: (i) exatidão posicional de produtos cartográficos utilizando o Decreto nº. 89.817 aliada à ET-CQDG; (ii) inspeção topográfica através da NBR 13.133 e; (iii) avaliação de ortoimagens de aerolevantamento e bases cartográficas utilizadas no processo de Georreferenciamento de Imóveis Rurais segundo Norma de Execução n. 02 de 2018 do INCRA, e na metodologia proposta por Santos et al. (2016). Para a presente análise, será considerado o resultado gerado pelo programa

para a exatidão posicional de produtos cartográficos utilizando o Decreto nº. 89.817 aliada à ET-CQDG.

Para realizar a análise no programa GeoPEC, é necessário entrar com as coordenadas de teste (coordenadas no produto) e as coordenadas de referência (coordenadas no terreno).

FIGURA 23 – INSERÇÃO DE DADOS NO PROGRAMA GEOPEC

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Entrada de Dados - Decreto 89.817 / INCRA]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Entrada de Dados (Decreto 89.817 / INCRA)

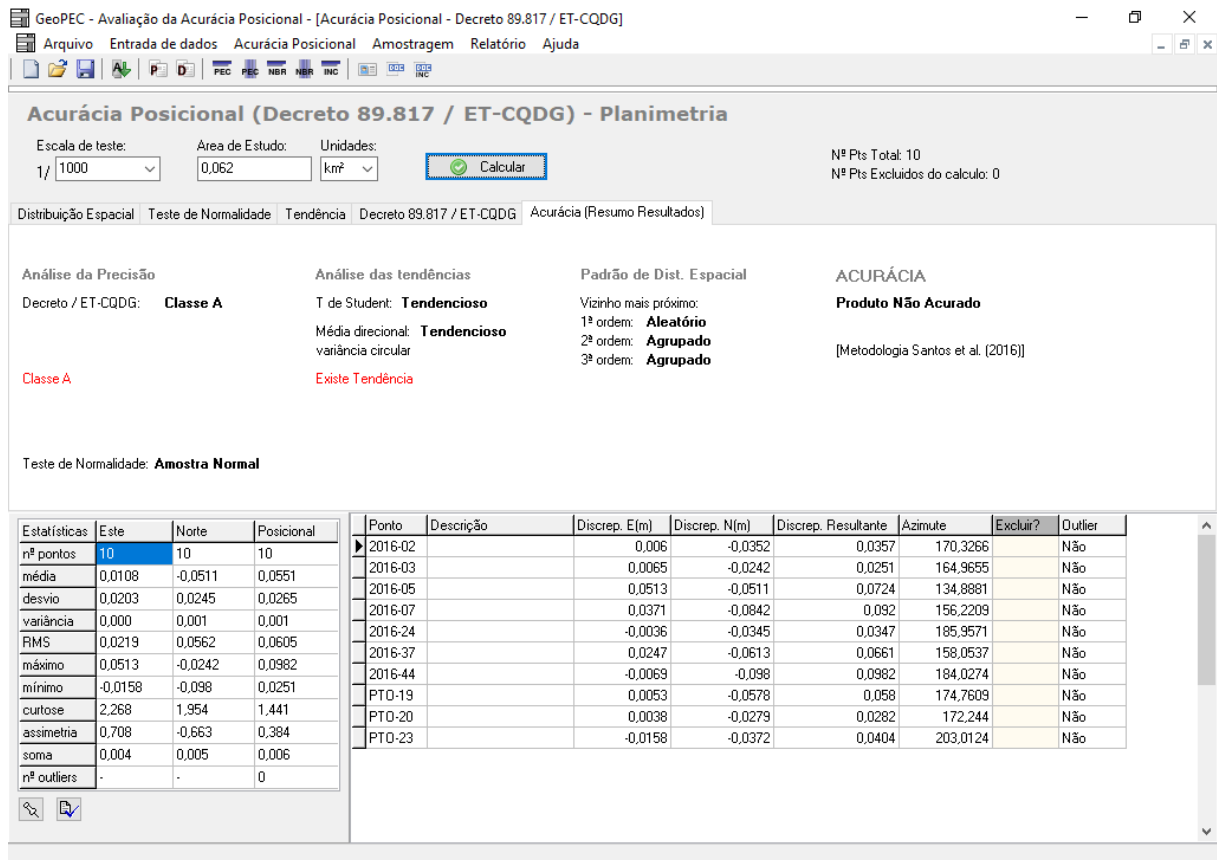
Adicionar Deletar Primeiro Anterior Próximo Último

| Ponto   | Descrição | E(m) teste      | N(m) teste       | h(m) teste | E(m) referência | N(m) referência | h(m) referência | 2D - Não considerar? | Z - Não consi |
|---------|-----------|-----------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|
| 2016-02 |           | 77852,318004121 | 7184206,66879115 |            | 677852,312      | 7184206,704     |                 |                      |               |
| 2016-03 |           | 77916,856458731 | 7184178,37279357 |            | 677916,85       | 7184178,397     |                 |                      |               |
| 2016-05 |           | 77880,420337874 | 7184250,12286587 |            | 677880,369      | 7184250,174     |                 |                      |               |
| 2016-07 |           | 77854,441110381 | 7184239,80484383 |            | 677854,404      | 7184239,889     |                 |                      |               |
| 2016-24 |           | 77869,790412751 | 7184055,39052822 |            | 677869,794      | 7184055,425     |                 |                      |               |
| 2016-37 |           | 77845,774743533 | 7184147,95370103 |            | 677845,75       | 7184148,015     |                 |                      |               |
| 2016-44 |           | 77891,999058255 | 7184098,44599633 |            | 677892,006      | 7184098,544     |                 |                      |               |
| PTQ-19  |           | 77865,042306602 | 7184143,27324707 |            | 677865,037      | 7184143,331     |                 |                      |               |
| PTQ-20  |           | 77852,806787388 | 7184130,18905161 |            | 677852,803      | 7184130,217     |                 |                      |               |
| PTQ-23  |           | 77887,319232093 | 7184166,15575761 |            | 677887,335      | 7184166,193     |                 |                      |               |

FONTE: A autora (2019).

Tendo isso feito, é necessário inserir a escala em que será feito o teste e por fim, o tamanho da área de estudo. Sendo assim, é possível calcular o resultado. A janela apresentada na Figura 22 apresenta os resultados gerado para exatidão.

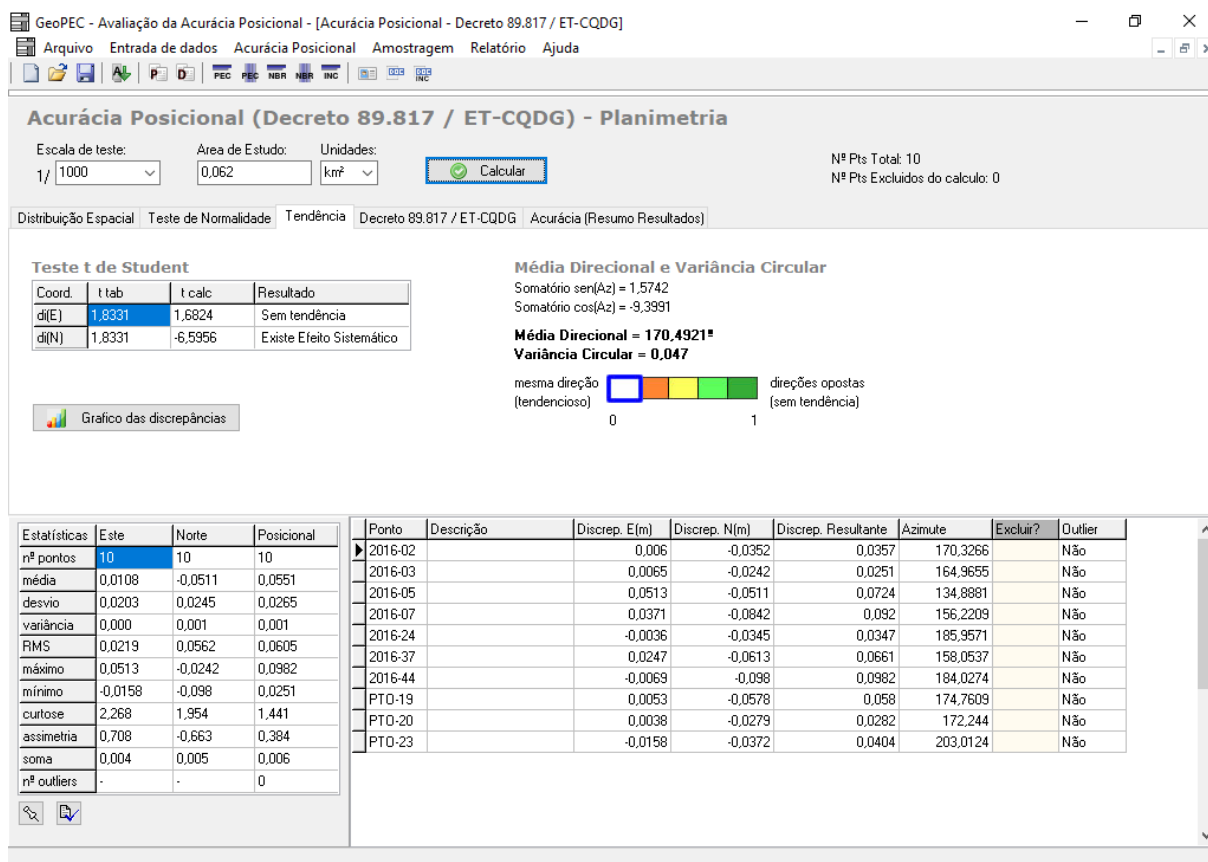
FIGURA 24 – RESULTADOS GEOPEC: EXATIDÃO



FONTE: A autora (2019).

Já na janela apresentada na Figura 23 é possível observar o teste estatístico *t de Student*, ou teste de tendência.

FIGURA 25 – RESULTADOS GEOPEC: TENDÊNCIA



FONTE: A autora (2019).

Tendo em vista que nem todos os resultados gerados pelo complemento são gerados pelo GeoPEC, e vice-versa, a análise será feita para os seguintes dados: classificação PEC-PCD; média; desvio-padrão; variância; e RMS ou EMQ. O teste *t de Student* que é calculado pelo GeoPEC não pode ser comparado com o calculado pelo complemento pois ambos utilizam metodologias diferentes de cálculo, sendo que enquanto o complemento calcula a tendência em relação a um valor pré-estabelecido pelo PEC-PCD, o GeoPEC faz o cálculo utilizando seu próprio desvio-padrão, ou seja, analisando a amostra em relação aos seus próprios dados. O teste de exatidão realizado pelo programa se dá através da junção dos resultados das análises de precisão e tendência para inferir sobre exatidão posicional, aponta Santos (2010), sendo assim, a comparação entre a exatidão do GeoPEC e do complemento não é possível de ser realizada.

Para melhor comparar os resultados, também foi realizado o cálculo em uma planilha Excel, sendo que além das estatísticas básicas, os cálculos de tendência e

exatidão foram realizados. De forma a facilitar a visualização, os resultados obtidos foram colocados lado a lado no Quadro 4, em conjunto com as discrepâncias calculadas. Os dados calculados pelo complemento e pela planilha resultaram em valores idênticos, sendo assim representados de uma única vez.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS GERADOS

| Itens                       | Complemento / Planilha |         | GeoPEC             |         | Discrepâncias |         |
|-----------------------------|------------------------|---------|--------------------|---------|---------------|---------|
|                             | X                      | Y       | X                  | Y       | X             | Y       |
| Média (m)                   | 0,0108                 | -0,0511 | 0,0108             | -0,0511 | 0,0000        | 0,0000  |
| Desvio-padrão (m)           | 0,0208                 | 0,0245  | 0,0203             | 0,0245  | 0,0005        | 0,0000  |
| Variância (m <sup>2</sup> ) | 0,0004                 | 0,0006  | 0,0000             | 0,0010  | 0,0004        | -0,0004 |
| EMQ (posicional) (m)        | 0,0605                 |         | 0,0605             |         | 0,0000        |         |
| t de Student                | 0,2017                 | 0,9513  | -                  | -       | -             | -       |
| Qui-Quadrado                | 0,2684                 | 0,3752  | -                  | -       | -             | -       |
| PEC-PCD                     | Classe A - 1:1.000     |         | Classe A - 1:1.000 |         | -             |         |

FONTE: A autora (2019).

As discrepâncias observadas são de pequena grandeza, sendo possivelmente geradas devido ao tipo de arredondamento utilizado pelo GeoPEC em comparação com o complemento criado e planilha calculada. A partir dos resultados observados, é possível validar o complemento gerado, pois o fato de não surgirem grandes variações nos resultados analisados, comprova a eficiência dos cálculos gerados pelo complemento, sendo assim possível aplicar o complemento para a análise de precisão e exatidão planimétrica de produtos digitais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para suprir a necessidade de um sistema para análise de exatidão e precisão em conformidade com a ET-CQDG, essa pesquisa apresentou o desenvolvimento do complemento “PEC-PCD” criado para o programa QGIS. Através do complemento é possível avaliar uma ortoimagem em sua componente planimétrica, a partir da captura de pontos de controle e comparação com seus pontos homólogos no terreno. Além disso, o complemento possibilita ao usuário a segmentação da área de estudo em quadrículas, de largura por ele definida, para cálculo do tamanho da amostra em que essa população será submetida a um nível de confiança de 90%.

O desenvolvimento do complemento passou por diversas etapas, partindo da listagem dos requisitos, proposta de interface, desenvolvimento da interface, até a análise dos resultados. Os requisitos foram elencados tomando como base a norma ET-CQDG para análise da exatidão posicional, a metodologia de Galo e Camargo (1994) para realização de testes estatísticos, a metodologia de Júnior, Monico e Tachibana (2004) para definição do tamanho da amostra e metodologia de Delazari et al. (2018) para o cálculo de precisão e exatidão máximas. Através dos requisitos foi possível gerar uma proposta de interface que pôde ser desenvolvida através da linguagem de programação Python. É importante ressaltar que a programação foi facilitada através da implementação de modelos criados no QGIS, otimizando assim o tempo da programação. Esses modelos conectados à sintaxe Python possibilitaram a obtenção dos resultados que foram comparados com o processamento realizado no programa GeoPEC e cálculo isolado em planilha Excel, de forma que foi possível avaliar os cálculos propostos e verificar sua qualidade.

Os dados utilizados para a realização do teste foram selecionados da rede topográfica instalada no ano de 2016 no Centro Politécnico. No total foram utilizados dez pontos de verificação, porém esses pontos não estavam bem distribuídos espacialmente na ortoimagem utilizada para teste, sendo assim recomendado que ao utilizar o complemento, seja realizado levantamento de pontos de controle em conformidade com a quantidade de amostras apontadas no processamento, que devem ser fotoidentificáveis e espacializados um por quadrícula.

É recomendado incluir no complemento a análise altimétrica, pois o complemento desenvolvido realiza até então a análise para planimetria. É indicado que o resultado hoje exportado em planilha Excel seja atualizado para um relatório em

pdf formatado de forma mais padronizada, para que o usuário possa, por exemplo, anexá-lo em um relatório técnico. Deve-se também realizar testes com usuários de forma a validar a funcionalidade da interface, verificar se de fato o complemento atende aos requisitos e obter sugestões de melhorias. É sugerido ainda que, pelo fato de o complemento estar em um SIG, o usuário possa visualizar os erros e as estatísticas geradas através de elipses, vetores e superfícies, de forma a facilitar a compreensão e análise dos resultados obtidos.

Por fim, pode-se concluir que os objetivos da presente pesquisa foram alcançados e a compilação do complemento será de grande utilidade para o projeto UFPR CampusMap bem como para qualquer usuário que queira avaliar a precisão e exatidão de uma ortoimagem.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. B.; **Fotogrametria**. Curitiba. SBEE. 1998. 258 p.

BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar. **UML: guia do usuário**. Elsevier Brasil, 2006. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ddWqxcDKGF8C&oi=fnd&pg=PR13&dq=UML:+guia+do+usu%C3%A1rio&ots=feCKof9LRP&sig=So5nY3PV8MkSQCF1VicZ5Cd8Cr4>>. Acesso em: 24/10/2019.

BRASIL. **Decreto nº. 89.817, de 20 de junho de 1984**. Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Acesso em: 02/10/2019.

DELAZARI, Luciene Stamato; FILHO, Leonardo Ercolin; PEIXOTO, Elizabete Bugalski de Andrade. **Avaliação da Precisão e Exatidão Posicional de Dados Fotogramétricos Obtidos com a Tecnologia VANT no Projeto CampusMap**. Anais do VII SIMGEO Mapeamento da Superfície Terrestre / Estado da Arte, Recife 2018, p. 164. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/documents/39451/1384233/Anais+do+VII+SIMGEO/2ff23c73-935d-4418-8728-feb24630f34>>. Acesso em: 02/10/2019.

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico. **Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) – 1ª Edição**. 2016. Disponível em: <[http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET\\_CQDG\\_1a\\_edicao\\_2016.pdf](http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf)>. Acesso em: 02/10/2019.

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais (ET-ADGV)**. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia. Brasília-DF, 2a edição, v. 2, 2016. Disponível em: <[http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET-ADGV\\_3.0\\_211218.pdf](http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET-ADGV_3.0_211218.pdf)>. Acesso em: 02/10/2019.

FARIAS, Jean Lucas Paes de; MERÊNCIO, Ivan; VIEIRA, Carlos Antonio Oliveira. **Avaliação da acurácia cartográfica planimétrica do produto gerado a partir de aeronave remotamente pilotada (rpa)**. In: COBRAC 2018. 2018. Disponível em: <<http://www.ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2018/paper/download/472/180>>. Acesso em: 03/11/2019.

GALO, Maurício; CAMARGO, Paulo de Oliveira. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas**. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. 1994. p. 41-8. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Mauricio\\_Galo/publication/265208956\\_Utilizacao\\_do\\_GPS\\_no\\_controle\\_de\\_qualidade\\_de\\_cartas/links/540532350cf2bba34c1d2c10.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio_Galo/publication/265208956_Utilizacao_do_GPS_no_controle_de_qualidade_de_cartas/links/540532350cf2bba34c1d2c10.pdf)>. Acesso em: 03/11/2019.

Geotecnologias. Disponível em: <[http://www.geotecnologias.ufpr.br/Material\\_Apoio/Ajustamento](http://www.geotecnologias.ufpr.br/Material_Apoio/Ajustamento)>. Acesso em: 27 out. 2019.

ISO 19113:2002. **Geographic information - Quality principles**. International Organization for Standardization (ISO), 2002.

JÚNIOR, João Bosco Nogueira; MONICO, João Francisco Galera; TACHIBANA, Vilma Mayumi. **Tamanho da amostra no controle de qualidade posicional de dados cartográficos**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 10, n. 1, 2004. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/viewFile/1462/1216>>. Acesso em: 29/10/2019. Acesso em: 10/11/2019.

KONNO, Lidia Harumi. **Validação de requisitos de um sistema de geoinformação a partir do uso de protótipo e cenários**. 2018. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Acesso em: 05/11/2019.

NETO, Francisco de Deus Fonseca et al. **Avaliação da qualidade posicional de ortofotos geradas por sisvant com diferentes alturas de voo para aplicações cadastrais**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 7, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Afonso\\_Santos/publication/323918177\\_AVALIACAO\\_DA\\_QUALIDADE\\_POSICIONAL\\_DE\\_ORTOFOTOS\\_GERADAS\\_POR\\_SISVANT\\_COM\\_DIFERENTES\\_ALTURAS\\_DE\\_VOO\\_PARA\\_APLICACOES\\_CADASTRAIS/links/5ab29f28458515ecebeedf0b/AVALIACAO-DA-QUALIDADE-POSICIONAL-DE-ORTOFOTOS-GERADAS-POR-SISVANT-COM-DIFERENTES-ALTURAS-DE-VOO-PARA-APLICACOES-CADASTRAIS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Afonso_Santos/publication/323918177_AVALIACAO_DA_QUALIDADE_POSICIONAL_DE_ORTOFOTOS_GERADAS_POR_SISVANT_COM_DIFERENTES_ALTURAS_DE_VOO_PARA_APLICACOES_CADASTRAIS/links/5ab29f28458515ecebeedf0b/AVALIACAO-DA-QUALIDADE-POSICIONAL-DE-ORTOFOTOS-GERADAS-POR-SISVANT-COM-DIFERENTES-ALTURAS-DE-VOO-PARA-APLICACOES-CADASTRAIS.pdf)>. Acesso em: 05/11/2019.

SANTOS, Afonso de Paula dos; MEDEIROS, Nilcilene das Graças; SANTOS, Gérson Rodrigues dos; RODRIGUES, Dalto Domingo. **Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 21, n. 2, p. 233-250, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-21702015000200233&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-21702015000200233&script=sci_arttext)>. Acesso em: 20/11/2019.

SANTOS, Afonso de Paula dos; RODRIGUES, Dalto Domingos; SANTOS, Nerilson Terra; JUNIOR, Joel Gripp. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v22n4/1982-2170-bcg-22-04-00630.pdf>>. Acesso em: 20/11/2019.

SANTOS, Afonso de Paula. **Avaliação da sicional em dados espaciais com o uso da estatística espacial**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3733/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20/11/2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Pró-Reitoria de Planejamento, **Orçamento e Finanças. UFPR em Números 2016**. Curitiba, 2017. Disponível em: <[http://www.proplan.ufpr.br/portal/rel\\_atv/UFPR-Numeros2016.pdf](http://www.proplan.ufpr.br/portal/rel_atv/UFPR-Numeros2016.pdf)>. Acesso em: 02/10/2019.

## APÊNDICE A - MANUAL DE INSTALAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO COMPLEMENTO PEC-PCD PARA O PROGRAMA QGIS

### 1. INSTALAÇÃO

Passo 1: Fazer download do repositório “PEC-PCD” presente no GitHub:

<https://github.com/larissapinto/>

Passo 2: Alocar modelos contidos no arquivo compactado “modelos” na pasta do QGIS de caminho similar a:

“C:\Users\nome\_do\_usuario\AppData\Roaming\QGIS\QGIS3\profiles\default\processing\models”

Passo 3: A pasta “PEC\_PCD” deve ser descompactada e inserida na pasta do QGIS de caminho similar a:

“C:\Users\nome\_do\_usuario\AppData\Roaming\QGIS\QGIS3\profiles\default\python\plugins”

Passo 4: Instalar a biblioteca “openpyxl”, cujas instruções de instalação podem ser seguidas pelo seguinte link:

<https://stackoverflow.com/questions/38364404/how-to-install-openpyxl-with-pip>

Passo 5: Instalar o complemento através do gerenciador e instalador de complementos do QGIS.

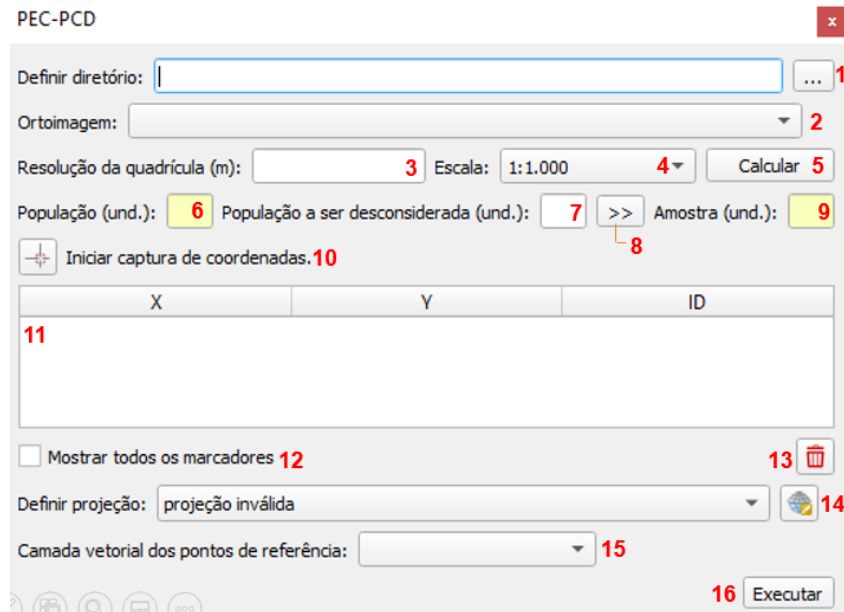
Obs: A versão mínima do programa QGIS para a instalação é a 3.8.3 – Zanzibar.

### 2. UTILIZAÇÃO

Passo 1: Selecionar o ícone do complemento  no painel de ferramentas do QGIS;

Passo 2: Para realizar a análise de precisão e exatidão, os seguintes passos devem ser realizados.

FIGURA 1 – INTERFACE DO COMPLEMENTO PEC-PCD



1. Definir o diretório em que serão salvos os resultados;
2. Selecionar a camada referente a ortomagem carregada no QGIS;
3. Inserir a resolução espacial da quadrícula a ser gerada;
4. Selecionar a escala em que se deseja saber o número de amostras para realizar a análise;
5. Gerar a grade e população;
6. Visualizar tamanho da população;
7. Inserir o valor (em unidade) de quadrículas a serem desconsideradas;
8. Calcular amostras;
9. Visualizar número de amostras calculado;
10. Habilitar o ícone que possibilita a captura de coordenadas no produto;
11. Tabela dos pontos inseridos no produto;
12. *Check-box* que habilita a visualização de todos os pontos capturados no produto;
13. Excluir ponto selecionado;
14. Selecionar a projeção cartográfica em que deseja trabalhar;
15. Selecionar a camada vetorial das coordenadas dos pontos de referência;
16. Executar o complemento;
17. Visualizar o resultado gerado no diretório indicado.

## APÊNDICE B - RELATÓRIO PEC-PCD

| AVALIAÇÃO DE PRECISÃO E EXATIDÃO PLANIMÉTRICA |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|-------------------------|--------------|-------------------------|--|--|
| RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO                    |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | População                                         |          | 36                      |              |                         |  |  |
|                                               | Amostra calculada                                 |          | 32                      |              |                         |  |  |
|                                               | Amostra utilizada                                 |          | 10                      |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Estatísticas básicas da amostra</b>            |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | X (m)                                             |          | Y (m)                   |              |                         |  |  |
|                                               | Média                                             | 0,011    | -0,051                  |              |                         |  |  |
|                                               | Desvio-pa                                         | 0,021    | 0,025                   |              |                         |  |  |
|                                               | Variância                                         | 0,000    | 0,001                   |              |                         |  |  |
|                                               | EMQ                                               | 0,061    |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Análise de tendência - <i>t de Student</i></b> |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b><i>t de Student</i> tabelado</b>               |          | 1,833                   |              |                         |  |  |
|                                               | T-student                                         | Eixo x   |                         | T-student    | Eixo y                  |  |  |
|                                               | 1:1000                                            | 0,202    | Não apresenta tendência | 0,951        | Não apresenta tendência |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Análise da precisão</b>                        |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Qui-Quadrado tabelado</b>                      |          | 4,168                   |              |                         |  |  |
|                                               | Qui-Quadrado                                      | Eixo x   |                         | Qui-Quadrado | Eixo y                  |  |  |
|                                               | 1:1000                                            | 0,268    | Hipótese aceita         | 0,375        | Hipótese aceita         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Classe PEC-PCD</b>                             |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | 1:1000                                            | Classe A |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Precisão e exatidão máxima</b>                 |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Escala para Precisão:</b>                      |          | 559,022                 |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Escala para Exatidão:</b>                      |          | 52,194                  |              |                         |  |  |
|                                               | <b>Escala máxima:</b>                             | 1/       | 600                     |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |
|                                               |                                                   |          |                         |              |                         |  |  |

## ANEXO A – TABELA T DE STUDENT

| Distribuição t de Student |                                                                               |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| gl/q                      | Área contida nas duas caudas laterais (bicaudal) da distribuição t de Student |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |
|                           | 0,995                                                                         | 0,990 | 0,980 | 0,975 | 0,950 | 0,900 | 0,100 | 0,050  | 0,025  | 0,020  | 0,010  | 0,005   |
| 1                         | 0,008                                                                         | 0,016 | 0,031 | 0,039 | 0,079 | 0,158 | 6,314 | 12,706 | 25,452 | 31,821 | 63,657 | 127,321 |
| 2                         | 0,007                                                                         | 0,014 | 0,028 | 0,035 | 0,071 | 0,142 | 2,920 | 4,303  | 6,205  | 6,965  | 9,925  | 14,089  |
| 3                         | 0,007                                                                         | 0,014 | 0,027 | 0,034 | 0,068 | 0,137 | 2,353 | 3,182  | 4,177  | 4,541  | 5,841  | 7,453   |
| 4                         | 0,007                                                                         | 0,013 | 0,027 | 0,033 | 0,067 | 0,134 | 2,132 | 2,776  | 3,495  | 3,747  | 4,604  | 5,598   |
| 5                         | 0,007                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,033 | 0,066 | 0,132 | 2,015 | 2,571  | 3,163  | 3,365  | 4,032  | 4,773   |
| 6                         | 0,007                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,033 | 0,065 | 0,131 | 1,943 | 2,447  | 2,969  | 3,143  | 3,707  | 4,317   |
| 7                         | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,065 | 0,130 | 1,895 | 2,365  | 2,841  | 2,998  | 3,499  | 4,029   |
| 8                         | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,065 | 0,130 | 1,860 | 2,306  | 2,752  | 2,896  | 3,355  | 3,833   |
| 9                         | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,064 | 0,129 | 1,833 | 2,262  | 2,685  | 2,821  | 3,250  | 3,690   |
| 10                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,064 | 0,129 | 1,812 | 2,228  | 2,634  | 2,764  | 3,169  | 3,581   |
| 11                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,064 | 0,129 | 1,796 | 2,201  | 2,593  | 2,718  | 3,106  | 3,497   |
| 12                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,064 | 0,128 | 1,782 | 2,179  | 2,560  | 2,681  | 3,055  | 3,428   |
| 13                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,064 | 0,128 | 1,771 | 2,160  | 2,533  | 2,650  | 3,012  | 3,372   |
| 14                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,026 | 0,032 | 0,064 | 0,128 | 1,761 | 2,145  | 2,510  | 2,624  | 2,977  | 3,326   |
| 15                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,064 | 0,128 | 1,753 | 2,131  | 2,490  | 2,602  | 2,947  | 3,286   |
| 16                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,064 | 0,128 | 1,746 | 2,120  | 2,473  | 2,583  | 2,921  | 3,252   |
| 17                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,064 | 0,128 | 1,740 | 2,110  | 2,458  | 2,567  | 2,898  | 3,222   |
| 18                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,064 | 0,127 | 1,734 | 2,101  | 2,445  | 2,552  | 2,878  | 3,197   |
| 19                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,064 | 0,127 | 1,729 | 2,093  | 2,433  | 2,539  | 2,861  | 3,174   |
| 20                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,725 | 2,086  | 2,423  | 2,528  | 2,845  | 3,153   |
| 21                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,721 | 2,080  | 2,414  | 2,518  | 2,831  | 3,135   |
| 22                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,717 | 2,074  | 2,405  | 2,508  | 2,819  | 3,119   |
| 23                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,714 | 2,069  | 2,398  | 2,500  | 2,807  | 3,104   |
| 24                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,711 | 2,064  | 2,391  | 2,492  | 2,797  | 3,091   |
| 25                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,708 | 2,060  | 2,385  | 2,485  | 2,787  | 3,078   |
| 26                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,706 | 2,056  | 2,379  | 2,479  | 2,779  | 3,067   |
| 27                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,703 | 2,052  | 2,373  | 2,473  | 2,771  | 3,057   |
| 28                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,701 | 2,048  | 2,368  | 2,467  | 2,763  | 3,047   |
| 29                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,699 | 2,045  | 2,364  | 2,462  | 2,756  | 3,038   |
| 30                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,697 | 2,042  | 2,360  | 2,457  | 2,750  | 3,030   |
| 31                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,696 | 2,040  | 2,356  | 2,453  | 2,744  | 3,022   |
| 32                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,694 | 2,037  | 2,352  | 2,449  | 2,738  | 3,015   |
| 33                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,692 | 2,035  | 2,348  | 2,445  | 2,733  | 3,008   |
| 34                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,691 | 2,032  | 2,345  | 2,441  | 2,728  | 3,002   |
| 35                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,690 | 2,030  | 2,342  | 2,438  | 2,724  | 2,996   |
| 36                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,688 | 2,028  | 2,339  | 2,434  | 2,719  | 2,990   |
| 37                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,687 | 2,026  | 2,336  | 2,431  | 2,715  | 2,985   |
| 38                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,127 | 1,686 | 2,024  | 2,334  | 2,429  | 2,712  | 2,980   |
| 39                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,126 | 1,685 | 2,023  | 2,331  | 2,426  | 2,708  | 2,976   |
| 40                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,032 | 0,063 | 0,126 | 1,684 | 2,021  | 2,329  | 2,423  | 2,704  | 2,971   |
| 50                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,676 | 2,009  | 2,311  | 2,403  | 2,678  | 2,937   |
| 60                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,671 | 2,000  | 2,299  | 2,390  | 2,660  | 2,915   |
| 70                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,667 | 1,994  | 2,291  | 2,381  | 2,648  | 2,899   |
| 80                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,664 | 1,990  | 2,284  | 2,374  | 2,639  | 2,887   |
| 90                        | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,662 | 1,987  | 2,280  | 2,368  | 2,632  | 2,878   |
| 100                       | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,660 | 1,984  | 2,276  | 2,364  | 2,626  | 2,871   |
| 120                       | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,658 | 1,980  | 2,270  | 2,358  | 2,617  | 2,860   |
| ####                      | 0,006                                                                         | 0,013 | 0,025 | 0,031 | 0,063 | 0,126 | 1,645 | 1,960  | 2,241  | 2,326  | 2,576  | 2,807   |

As linhas indicam o número de graus de liberdade (gl) da distribuição t de Student e as colunas indicam a soma das áreas contidas nas caudas (bicaudal). Por exemplo, a linha com 16 gl e coluna 0,10 cujo valor tabelado é 1,746 indica que o valor 1,746 deixa 10% de probabilidade nas duas caudas quando há 16 gl. Ou seja, dada a probabilidade bicaudal eu descubro o valor t correspondente.

FONTE: Geotecnologias (2007).

## ANEXO B – TABELA QUI-QUADRADO

| Distribuição Qui-quadrado |                        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| gl/q                      | Área da cauda superior |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                           | 0,995                  | 0,990   | 0,980   | 0,975   | 0,950   | 0,900   | 0,100   | 0,050   | 0,025   | 0,020   | 0,010   | 0,005   |
| 1                         | 0,000                  | 0,000   | 0,001   | 0,001   | 0,004   | 0,016   | 2,706   | 3,841   | 5,024   | 5,412   | 6,635   | 7,879   |
| 2                         | 0,010                  | 0,020   | 0,040   | 0,051   | 0,103   | 0,211   | 4,605   | 5,991   | 7,378   | 7,824   | 9,210   | 10,597  |
| 3                         | 0,072                  | 0,115   | 0,185   | 0,216   | 0,352   | 0,584   | 6,251   | 7,815   | 9,348   | 9,837   | 11,345  | 12,838  |
| 4                         | 0,207                  | 0,297   | 0,429   | 0,484   | 0,711   | 1,064   | 7,779   | 9,488   | 11,143  | 11,668  | 13,277  | 14,860  |
| 5                         | 0,412                  | 0,554   | 0,752   | 0,831   | 1,145   | 1,610   | 9,236   | 11,070  | 12,833  | 13,388  | 15,086  | 16,750  |
| 6                         | 0,676                  | 0,872   | 1,134   | 1,237   | 1,635   | 2,204   | 10,645  | 12,592  | 14,449  | 15,033  | 16,812  | 18,548  |
| 7                         | 0,989                  | 1,239   | 1,564   | 1,690   | 2,167   | 2,833   | 12,017  | 14,067  | 16,013  | 16,622  | 18,475  | 20,278  |
| 8                         | 1,344                  | 1,646   | 2,032   | 2,180   | 2,733   | 3,490   | 13,362  | 15,507  | 17,535  | 18,168  | 20,090  | 21,955  |
| 9                         | 1,735                  | 2,088   | 2,532   | 2,700   | 3,325   | 4,168   | 14,684  | 16,919  | 19,023  | 19,679  | 21,666  | 23,589  |
| 10                        | 2,156                  | 2,558   | 3,059   | 3,247   | 3,940   | 4,865   | 15,987  | 18,307  | 20,483  | 21,161  | 23,209  | 25,188  |
| 11                        | 2,603                  | 3,053   | 3,609   | 3,816   | 4,575   | 5,578   | 17,275  | 19,675  | 21,920  | 22,618  | 24,725  | 26,757  |
| 12                        | 3,074                  | 3,571   | 4,178   | 4,404   | 5,226   | 6,304   | 18,549  | 21,026  | 23,337  | 24,054  | 26,217  | 28,300  |
| 13                        | 3,565                  | 4,107   | 4,765   | 5,009   | 5,892   | 7,042   | 19,812  | 22,362  | 24,736  | 25,472  | 27,688  | 29,819  |
| 14                        | 4,075                  | 4,660   | 5,368   | 5,629   | 6,571   | 7,790   | 21,064  | 23,685  | 26,119  | 26,873  | 29,141  | 31,319  |
| 15                        | 4,601                  | 5,229   | 5,985   | 6,262   | 7,261   | 8,547   | 22,307  | 24,996  | 27,488  | 28,259  | 30,578  | 32,801  |
| 16                        | 5,142                  | 5,812   | 6,614   | 6,908   | 7,962   | 9,312   | 23,542  | 26,296  | 28,845  | 29,633  | 32,000  | 34,267  |
| 17                        | 5,697                  | 6,408   | 7,255   | 7,564   | 8,672   | 10,085  | 24,769  | 27,587  | 30,191  | 30,995  | 33,409  | 35,718  |
| 18                        | 6,265                  | 7,015   | 7,906   | 8,231   | 9,390   | 10,865  | 25,989  | 28,869  | 31,526  | 32,346  | 34,805  | 37,156  |
| 19                        | 6,844                  | 7,633   | 8,567   | 8,907   | 10,117  | 11,651  | 27,204  | 30,144  | 32,852  | 33,687  | 36,191  | 38,582  |
| 20                        | 7,434                  | 8,260   | 9,237   | 9,591   | 10,851  | 12,443  | 28,412  | 31,410  | 34,170  | 35,020  | 37,566  | 39,997  |
| 21                        | 8,034                  | 8,897   | 9,915   | 10,283  | 11,591  | 13,240  | 29,615  | 32,671  | 35,479  | 36,343  | 38,932  | 41,401  |
| 22                        | 8,643                  | 9,542   | 10,600  | 10,982  | 12,338  | 14,041  | 30,813  | 33,924  | 36,781  | 37,659  | 40,289  | 42,796  |
| 23                        | 9,260                  | 10,196  | 11,293  | 11,689  | 13,091  | 14,848  | 32,007  | 35,172  | 38,076  | 38,968  | 41,638  | 44,181  |
| 24                        | 9,886                  | 10,856  | 11,992  | 12,401  | 13,848  | 15,659  | 33,196  | 36,415  | 39,364  | 40,270  | 42,980  | 45,559  |
| 25                        | 10,520                 | 11,524  | 12,697  | 13,120  | 14,611  | 16,473  | 34,382  | 37,652  | 40,646  | 41,566  | 44,314  | 46,928  |
| 26                        | 11,160                 | 12,198  | 13,409  | 13,844  | 15,379  | 17,292  | 35,563  | 38,885  | 41,923  | 42,856  | 45,642  | 48,290  |
| 27                        | 11,808                 | 12,879  | 14,125  | 14,573  | 16,151  | 18,114  | 36,741  | 40,113  | 43,195  | 44,140  | 46,963  | 49,645  |
| 28                        | 12,461                 | 13,565  | 14,847  | 15,308  | 16,928  | 18,939  | 37,916  | 41,337  | 44,461  | 45,419  | 48,278  | 50,993  |
| 29                        | 13,121                 | 14,256  | 15,574  | 16,047  | 17,708  | 19,768  | 39,087  | 42,557  | 45,722  | 46,693  | 49,588  | 52,336  |
| 30                        | 13,787                 | 14,953  | 16,306  | 16,791  | 18,493  | 20,599  | 40,256  | 43,773  | 46,979  | 47,962  | 50,892  | 53,672  |
| 31                        | 14,458                 | 15,655  | 17,042  | 17,539  | 19,281  | 21,434  | 41,422  | 44,985  | 48,232  | 49,226  | 52,191  | 55,003  |
| 32                        | 15,134                 | 16,362  | 17,783  | 18,291  | 20,072  | 22,271  | 42,585  | 46,194  | 49,480  | 50,487  | 53,486  | 56,328  |
| 33                        | 15,815                 | 17,074  | 18,527  | 19,047  | 20,867  | 23,110  | 43,745  | 47,400  | 50,725  | 51,743  | 54,776  | 57,648  |
| 34                        | 16,501                 | 17,789  | 19,275  | 19,806  | 21,664  | 23,952  | 44,903  | 48,602  | 51,966  | 52,995  | 56,061  | 58,964  |
| 35                        | 17,192                 | 18,509  | 20,027  | 20,569  | 22,465  | 24,797  | 46,059  | 49,802  | 53,203  | 54,244  | 57,342  | 60,275  |
| 36                        | 17,887                 | 19,233  | 20,783  | 21,336  | 23,269  | 25,643  | 47,212  | 50,998  | 54,437  | 55,489  | 58,619  | 61,581  |
| 37                        | 18,586                 | 19,960  | 21,542  | 22,106  | 24,075  | 26,492  | 48,363  | 52,192  | 55,668  | 56,730  | 59,893  | 62,883  |
| 38                        | 19,289                 | 20,691  | 22,304  | 22,878  | 24,884  | 27,343  | 49,513  | 53,384  | 56,896  | 57,969  | 61,162  | 64,181  |
| 39                        | 19,996                 | 21,426  | 23,069  | 23,654  | 25,695  | 28,196  | 50,660  | 54,572  | 58,120  | 59,204  | 62,428  | 65,476  |
| 40                        | 20,707                 | 22,164  | 23,838  | 24,433  | 26,509  | 29,051  | 51,805  | 55,758  | 59,342  | 60,436  | 63,691  | 66,766  |
| 50                        | 27,991                 | 29,707  | 31,664  | 32,357  | 34,764  | 37,689  | 63,167  | 67,505  | 71,420  | 72,613  | 76,154  | 79,490  |
| 60                        | 35,534                 | 37,485  | 39,699  | 40,482  | 43,188  | 46,459  | 74,397  | 79,082  | 83,298  | 84,580  | 88,379  | 91,952  |
| 70                        | 43,275                 | 45,442  | 47,893  | 48,758  | 51,739  | 55,329  | 85,527  | 90,531  | 95,023  | 96,388  | 100,425 | 104,215 |
| 80                        | 51,172                 | 53,540  | 56,213  | 57,153  | 60,391  | 64,278  | 96,578  | 101,879 | 106,629 | 108,069 | 112,329 | 116,321 |
| 90                        | 59,196                 | 61,754  | 64,635  | 65,647  | 69,126  | 73,291  | 107,565 | 113,145 | 118,136 | 119,648 | 124,116 | 128,299 |
| 100                       | 67,328                 | 70,065  | 73,142  | 74,222  | 77,929  | 82,358  | 118,498 | 124,342 | 129,561 | 131,142 | 135,807 | 140,169 |
| 120                       | 83,852                 | 86,923  | 90,367  | 91,573  | 95,705  | 100,624 | 140,233 | 146,567 | 152,211 | 153,918 | 158,950 | 163,648 |
| 150                       | 109,142                | 112,668 | 116,608 | 117,985 | 122,692 | 128,275 | 172,581 | 179,581 | 185,800 | 187,678 | 193,208 | 198,360 |

As linhas indicam o número de graus de liberdade (gl) da distribuição Qui-quadrado e as colunas indicam a área na cauda superior. Por exemplo, a linha com 16 gl e coluna 0,10 cujo valor tabelado é 23,542 indica que o valor 23,542 deixa 10% de probabilidade na cauda superior para 16 gl. Ou seja, dada a probabilidade da cauda superior eu descubro o valor  $\chi^2$  correspondente.

FONTE: Geotecnologias (2007).