



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

CENTRO DE ENGENHARIA (CE)

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RUAN HENRIQUE BARROS FIGUEREDO

**INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE
CONTROLE NA PRECISÃO DE ORTOIMAGENS DE ÁREAS URBANAS
GERADAS POR ARPs**

MOSSORÓ

2022

RUAN HENRIQUE BARROS FIGUEREDO

**INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE
CONTROLE NA PRECISÃO DE ORTOIMAGENS DE ÁREAS URBANAS
GERADAS POR ARPs**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Taygra
Vasconcelos Fernandes.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F471 Figueredo, Ruan Henrique Barros.
i INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE
 PONTOS DE CONTROLE NA PRECISÃO DE ORTOIMAGENS
 DE
 ÁREAS URBANAS GERADAS POR ARPs / Ruan
 Henrique Barros Figueredo. - 2022.
 39 f. : il.

 Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos
 Fernandes.

 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2022.

 1. ARP's. 2. Georreferenciamento. 3.
 Topografia. I. Fernandes, Rogério Taygra
 Vasconcelos , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

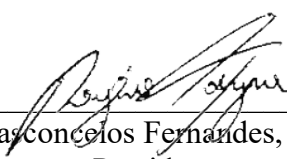
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE
CONTROLE NA PRECISÃO DE ORTOIMAGENS DE ÁREAS URBANAS
GERADAS POR ARPs**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 15 / junho / 2022.

BANCA EXAMINADORA

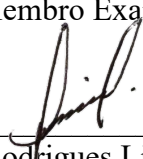


Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

BRENNO DAYANO AZEVEDO
DA SILVEIRA:01362045462

Assinado de forma digital por BRENNO
DAYANO AZEVEDO DA
SILVEIRA:01362045462
Dados: 2022.06.23 17:15:42 -03'00'

Brenno Dayano Azevedo da Silveira, Prof. Msc. (UFERSA)
Membro Examinador



Pedro David Rodrigues Lima, Esp. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Pai Ricardo e Minha mãe Vânia, por sempre acreditar em mim e me dar forças para continuar ao longo de toda essa caminhada acadêmica.

Agradeço também ao meu padrinho Júnior Moura e ao meu tio Edilânio por sempre ter tentado me mostrar o melhor caminho acadêmico a ser seguido.

Sou grato a todos os professores contribuintes com a minha trajetória acadêmica, especialmente ao professor Dr. Rogério, responsável pela orientação do meu projeto.

Agradeço ao professor Dr. Almir Mariano, por ter me dado a oportunidade de participar no núcleo de pesquisa e extensão Acesso à Terra Urbanizada, esse projeto só pode ser realizado graças aos aprendizados obtidos no núcleo.

RESUMO

Levantamentos topográficos realizados por aeronaves remotamente pilotadas apresentam menor custo e maior produtividade se comparados a equipamentos tradicionais, como por exemplo uma estação total. Por esse motivo, as Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP's têm adquirido espaço em trabalhos técnicos. A precisão dos levantamentos topográficos é de extrema importância, tendo em vista que ter uma precisão adequada para o produto gerado é imprescindível, sendo que não existem parâmetros normativos que regem sobre o uso de pontos de controle para levantamentos aerofotogramétricos. Desta forma, esse trabalho objetivou analisar a precisão de um levantamento aerofotogramétrico urbano variando a quantidade e distribuição dos pontos de controle georreferenciados. A área utilizada para o estudo está localizada no lado leste da Universidade Federal Rural do Semiárido campus Mossoró, com uma área de 15,917 ha. Com a coleta de dados foi realizado processamento e obtido relatórios dos erros. O presente trabalho conseguiu realizar o estudo e indicou que, a forma de distribuição interfere mais na precisão do que a quantidade de pontos de controle, observou-se também que o aumento da quantidade de pontos de controle distribuídos aleatoriamente influi minimamente na precisão final encontrada.

Palavras-chave: ARP's, Georreferenciamento, Topografia.

ABSTRACT

Topographic surveys performed by remotely piloted aircraft present lower cost and higher productivity compared to traditional equipment, such as a total station. For this reason, Remotely Piloted Aircraft - ARP's have acquired space in technical works. The accuracy of topographic surveys is extremely important, considering that having an adequate precision for the generated product is essential, and there are no normative parameters that govern the use of control points for aerophotogrammetric surveys. Thus, this work aimed to analyze the accuracy of an urban aerial photogrammetric survey varying the quantity and distribution of georeferenced control points. The area used for the study is located on the east side of the Universidade Federal Rural do Semiárido campus Mossoró, 15,917 ha. With data collection, processing was performed and error reports were obtained. The present work was able to carry out the study and indicated that the form of distribution interferes more in precision than the number of control points, it was also observed that the increase in the number of control points randomly distributed minimally influences the final precision found.

Keywords: ARP's, Georeferencing, Topography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de Precisão e Acurácia. Fonte: McCormac (2007, p.15).....	17
Figura 2. Ângulos das capturas das imagens. Fonte: Brandalize (2008).....	18
Figura 3. Sobreposição. Fonte: Mappa.....	19
Figura 4. Sobreposição mínima. Fonte: Carvalho (2017)	20
Figura 5, Área de estudo. Fonte: Autoria Própria.....	23
Figura 6. Distribuição na borda com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	25
Figura 7. Distribuição no centro com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	25
Figura 8. Distribuição na borda e no centro com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	26
Figura 9. Distribuição na borda com 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	26
Figura 10. Distribuição no centro com 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria ...	27
Figura 11. Distribuição na borda e no centro com 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	27
Figura 12. Distribuição na borda com 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	28
Figura 13. Distribuição no centro com 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria ...	28
Figura 14. Distribuição na borda e no centro com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	29
Figura 15. Todos os pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	29
Figura 16. Phantom 4 RTK. Fonte: Autoria Própria	30
Figura 17. GNSS RTK. Fonte: Autoria Própria	31
Figura 18. Alvo. Fonte: Acesso a Terra Urbanizada	32
Figura 19. Mesma quantidade de pontos de controle, distribuições diferentes - 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	33
Figura 20. Mesma quantidade de pontos de controle, distribuições diferentes - 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	34
Figura 21. Mesma quantidade de pontos de controle, distribuições diferentes - 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	34
Figura 22. Mesma distribuição, quantidade de pontos de controle diferente – Bordas. Fonte: Autoria Própria	35
Figura 23. Mesma distribuição, quantidade de pontos de controle diferente – Centro. Fonte: Autoria Própria	35

Figura 24. Mesma distribuição, quantidade de pontos de controle diferentes – Bordas e Centro. Fonte: Autoria Própria	36
Figura 25. Menores erros utilizando 5, 6 e 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria	36
Figura 26. Aumento gradual dos pontos de controle. Fonte: Autoria Própria.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da pesquisa. Fonte: Miguel (2010)	22
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
P.C.	Ponto de Controle
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
GPC	<i>Ground Control Points</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Topografia	17
3.2 Precisão e acurácia.....	17
3.3 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)	17
3.4 Ortomosaico	18
3.5 Real Time Kinematic (RTK).....	20
3.6 Pontos de apoio geodésico para os levantamentos topográficos	20
4. METODOLOGIA.....	22
4.1 Área de estudo.....	22
4.2 Distribuição dos pontos de controle	24
4.2.1 Casos com 5 pontos de controle	24
4.2.2 Casos com 6 pontos de controle	26
4.2.3 Casos com 7 pontos de controle	27
4.2.4 Todos os pontos de Controle	29
4.3 Equipamentos utilizados	29
4.3.1 ARP.....	29
4.3.2 GNSS RTK.....	30
4.4 Método do levantamento	31
4.5 Obtenção dos resultados.....	32
5. RESULTADOS	33
5.1 Análise de acordo com a forma de distribuição	33
5.2 Análise de acordo com a quantidade de pontos de controle	34
5.3 Melhores resultados obtidos quando usados 5, 6 e 7 pontos de controle.....	36

5.4 Análise de acordo com o aumento na quantidade de pontos de controle	37
5.5 Discussões	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

A topografia é uma área do conhecimento amplamente estudada não só para a sua aplicação prática na direta representação dos relevos, mas também para as fases de planejamento, reconhecimento e locação na construção civil. Os mais diversos projetos de engenharia como projetos de terraplenagem para infraestrutura de obras viárias, obras hidráulicas, construção de grandes edificações e saneamento básico dependem da exatidão proporcionada pelos levantamentos topográficos (BORGES, 2006).

Os trabalhos topográficos de campo realizados de forma convencional, ou seja, com instrumentos de medidas diretas ou indiretas, podem demandar muito tempo e ser fisicamente dispendiosos. Áreas simples de 12 hectares, como conjuntos de feições urbanas, podem levar, em média, até dois dias para serem levantadas com um dos equipamentos mais modernos e usuais na topografia tradicional, a Estação Total com prisma reflexivo (LIMA, 2018).

O avanço científico na área das geotecnologias proporciona o uso de Sistemas de Posicionamento Global por Satélite, os GNSS, cada vez mais rápidos e precisos. Paralelamente, o avanço nas técnicas de aerofotogrametria das Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP's – possibilitam, aliado àqueles, a obtenção de várias informações planialtimétricas de uma área com menor custo, de forma menos dispendiosa fisicamente, e em menos tempo (NEWCOME, 2004).

É evidente o grande aumento no uso de aeronaves remotamente pilotadas. No Brasil o SISANT/ANAC Sistema de Aeronaves não Tripuladas juntamente com a Agência Nacional de Aviação Civil registrou até o mês de março/2022 mais de 95.753 aeronaves em seu cadastro (OLIVEIRA, 2022).

Porém, como em todas tecnologias emergentes, existem detalhes a serem estudados para que as técnicas utilizadas sejam consideradas seguras e apresentem resultados confiáveis compatíveis com os métodos tradicionais, confiança essa que apenas o rigor do método científico pode proporcionar.

Por tratar-se de uma tecnologia em desenvolvimento, o uso de ARP para mapeamento aerofotogramétrico necessita de normatização para trabalhos de engenharia para que, só assim, possam se firmar definitivamente como alternativa confiável para levantamentos topográficos. Almeida et al. (2016) argumenta que os produtos devem

passar por estudos para otimização de parâmetros como altura ótima do equipamento, melhor sobreposição das imagens e quantidade e posicionamento de pontos de controle.

O uso de metodologias alternativas e modernas, como o uso de ARP's para levantamentos topográficos, está se sobressaindo, no mercado e na engenharia civil, em custo e praticidade quando comparados aos métodos da topografia convencional, a necessidade de parametrizar e validar metodologias novas se torna cada vez mais urgente e necessária, embasando de vez o novo ramo de levantamentos topográficos e entregando confiança aos produtos de levantamentos aerofotogramétricos, apresentando também técnicas que possam ser replicadas por profissionais da área para que seus trabalhos sejam não só precisos e acurados, mas também realizados de forma eficiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o efeito da quantidade e distribuição dos pontos de controle na precisão de um levantamento aerofotogramétrico georreferenciado.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da quantidade de pontos de controle na precisão da ortoimagem produzida por uma ARP;
- Analisar o efeito que diferentes formas de distribuição dos pontos de controle afetam a precisão do levantamento quando empregado o mesmo número de pontos;
- Identificar quais as melhores configurações de pontos e suas respectivas configurações no que se refere a precisão da ortoimagem produzida e suas eventuais aplicações.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Topografia

A Topografia é uma ciência que estuda o conjunto de procedimentos para determinar as posições relativas dos pontos sobre a superfície da terra e abaixo da mesma, mediante a combinação das medidas segundo os três elementos do espaço: distância, elevação e direção (FRANÇA, 2018).

Apesar de ser uma ciência que estuda procedimentos para determinar posições, ela não está livre de erros, por isso, tenta-se diminuir ao máximo o mesmo, que sempre vai existir, seja ele obtido por erro humano, ou pela precisão da máquina.

3.2 Precisão e acurácia



Figura 1. Exemplo de Precisão e Acurácia. Fonte: McCormac (2007, p.15)

Como mostrado na Figura, existe diferença entre precisão e acurácia, embora ainda possam ser confundidas. A precisão depende do “agrupamento” das medidas, já a acurácia depende do quão próximo do real a medida coletada está. O ideal é que se tenha precisão e acurácia em um levantamento topográfico.

3.3 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)

Assim como diz Eisenbeiss (2004) ARP's são veículos aéreos não tripulados, reutilizáveis e controlados, que podem voar de forma autônoma, semiautônoma ou manualmente e são pilotados por controle remoto.

A ARP chegou para aperfeiçoar os levantamentos topográficos, pelo fato do seu uso ser simples e prático quando comparado a outros métodos de levantamento. Nele, basta traçar seu plano de voo (onde será definida a altura, a área a ser explorada, a

velocidade, e também a quantidade de imagens que serão coletadas pelo ARP) em um computador, ou qualquer outro dispositivo eletrônico que permita fazer esse plano e em seguida é necessário apenas colocá-lo em execução, para que o drone fotografe toda a área planejada.

Fortunato (2018) diz que, os ARP's são mais produtivos para georreferenciamento de grandes áreas de riscos e regiões inacessíveis. Além dessa, outra grande vantagem é que no processamento do levantamento por ARP todas as imagens coletadas são “unidas” em uma só (em 3D) podendo ser feito todo um levantamento da altimetria do local estudado, que facilita bastante para um possível aterro ou corte de terra na área. Mas, infelizmente, não é possível utilizar o ARP em todas as ocasiões, uma vez que em um local muito nublado, sujeito à chuva, ou até mesmo com grande intensidade de vento impossibilita tal trabalho.

3.4 Ortomosaico

De acordo com Júnior (2021) o ortomosaico é um mapa que tem uma alta resolução derivados da união e sobreposição de imagens com coordenadas geográficas precisas.

Durante um voo programado, o ARP captura várias imagens, com ângulos diferentes, que quando unidas, com as devidas correções, pode ser gerado o ortomosaico.

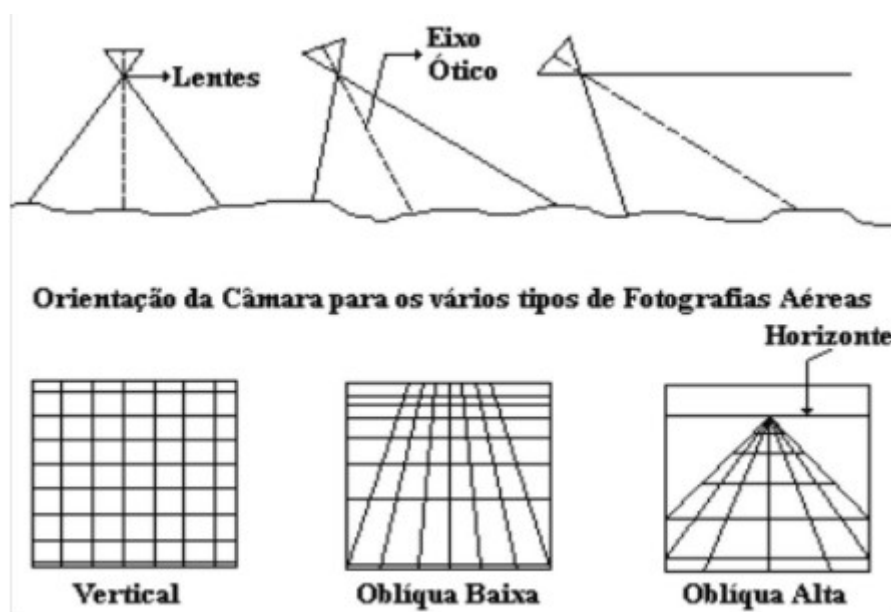


Figura 2. Ângulos das capturas das imagens. Fonte: Brandalize (2008)

Além de diferentes inclinações, deve ser feita a sobreposição das imagens, tanto horizontalmente (lateral) quando verticalmente (frontal), para que quando gerado o ortomosaico não fique nenhum “falha” no mesmo, a Figura 3 exemplifica como é feita a sobreposição.

A sobreposição também é utilizada para “imitar” o processo da estereoscopia. De acordo com Giovanini (2022) uma imagem estereoscópica é o resultado da sobreposição longitudinal entre duas aerofotos consecutivas.

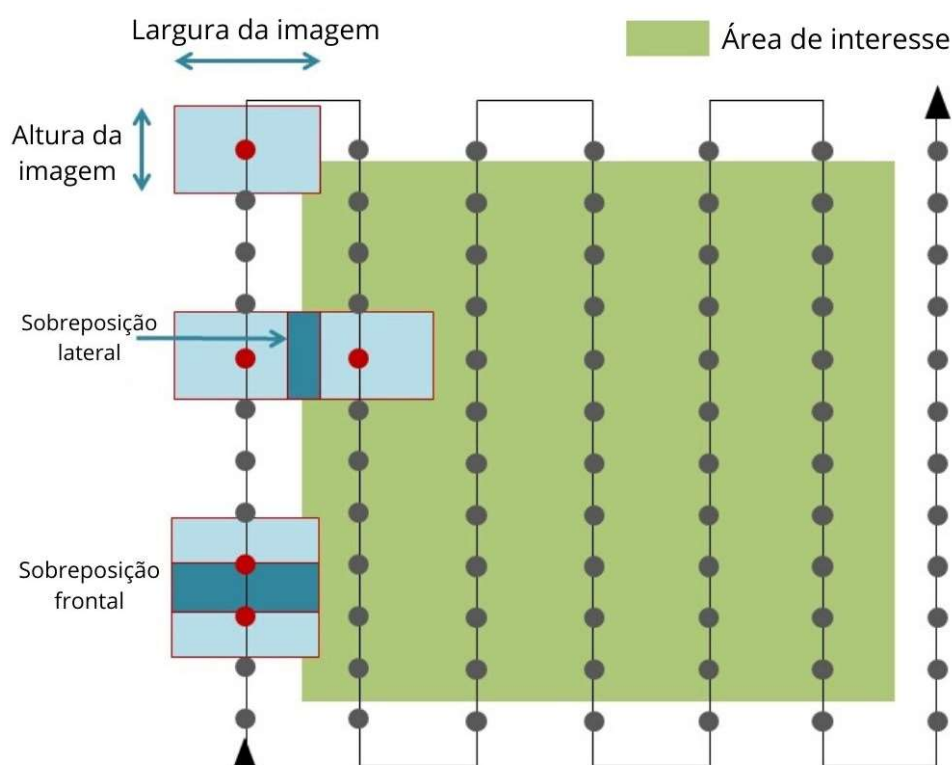


Figura 3. Sobreposição. Fonte: Mappa

Cada ponto nessa imagem significa a posição do ARP no momento da captura das imagens, as imagens têm uma certa área em comum.

Carvalho e Brito (2007, apud Carvalo 2017) dizem que a sobreposição deve ser de pelo menos 60% horizontalmente e 30% verticalmente, assim como é mostrado na Figura 4.



Figura 4. Sobreposição mínima. Fonte: Carvalho (2017)

3.5 Real Time Kinematic (RTK)

O RTK é um GPS de alta precisão e acurácia, onde os dados coletados são processados simultaneamente com o momento da coleta.

Um Sistema GNSS RTK, conhecido também como GPS RTK, é um conjunto de equipamentos eletrônicos capazes de coletar dados geoespaciais transmitidos por satélites a fim de obter coordenadas precisas, tanto em modo estático (pós-processado) como em modo RTK (Real Time Kinematic). São compostos por 02 (dois) receptores GNSS (base + rover), rádio de comunicação, coletor de dados, cabos de comunicação e acessórios de fixação. (FORTUNATO, 2018)

A produtividade de um levantamento topográfico em que é necessária a obtenção de muitos pontos realizado com o GNSS RTK é bem mais alta se comparada a um GPS geodésico, pois, como o GNSS RTK se divide em base e rover, e a base está conectada ao rover, corrigindo em tempo real a coordenada obtida pelo rover, dessa forma uma coordenada é coletada em segundos, dando muita agilidade ao levantamento, diferente do GPS geodésico, que necessita de minutos parado em um local para coletar um único ponto.

3.6 Pontos de apoio geodésico para os levantamentos topográficos

Conjunto de pontos, materializados no terreno, que proporciona aos levantamentos topográficos o controle de posição em relação à superfície terrestre

determinada pelas fronteiras do país, referenciando-os ao *datum* planimétrico do país. (NBR 13.133, 1994).

A NBR 13.133 (1994) indica ainda que tais pontos devem ser distribuídos de maneiras e quantidades diferentes quando se tratam de levantamentos topográficos com poligonais abertas ou fechadas. Os mesmos podem ser utilizados não apenas para georreferenciar os levantamentos topográficos, mas também para mensuração da precisão dos mesmos.

Os pontos de apoios são extremamente importantes, pois são eles que indicam a posição real do levantamento topográfico.

Na aerofotogrametria, são utilizados pontos de controle e pontos de verificação, onde os pontos de controle são utilizados para dar uma precisão maior ao ortomosaico, já os pontos de verificação são utilizados para que seja possível mensurar o erro presente no ortomosaico, assim, pode-se validar a precisão do levantamento.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho pretende realizar o levantamento de uma área com diversos pontos materializados no solo (*Ground Control Points* – GPC's) a serem utilizados em diferentes processamentos das mesmas imagens como pontos de controle, e pontos de verificação. A partir da mudança dos parâmetros de quantidade e posição destes pontos, serão realizadas análises e plotados os resultados.

De acordo com a tipologia proposta por Miguel (2010), a pesquisa pode ser classificada como sendo de natureza aplicada, uma vez que essa foi desenvolvida diretamente com o setor produtivo, tendo o foco em suas condições e demandas reais. No que se refere ao seu objetivo, a pesquisa pode ser enquadrada como descritiva, voltando seu olhar para os aspectos que caracterizam os desafios e possibilidades de levantamentos aerofotogramétricos. A abordagem, por sua vez, foi do tipo quali-quantitativa, enquanto o procedimento adotado foi o estudo de caso, tomando como objeto de estudo o levantamento aerofotogramétrico de uma área previamente selecionada. A tabela 1 apresenta a síntese da tipificação da pesquisa desenvolvida.

Tabela 1: classificação da pesquisa realizada de acordo com a tipologia proposta por Miguel (2010).

Critério	Classificação
Natureza	Aplicada
Objetivo	descritiva
Abordagem	Quali-quantitativa
procedimento	Estudo de caso

Tabela 1. Classificação da pesquisa. Fonte: Miguel (2010)

4.1 Área de estudo

Escolheu-se uma área urbana. A área utilizada para o estudo está localizada na cidade de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, no lado leste da Universidade Federal Rural do Semiárido campus Mossoró, com uma área de 15,917 ha. A mesma possui blocos de salas de aula e prédios administrativos que podem ser comparados à edificações urbanas de variadas dimensões, árvores, campos abertos e malha viária interna, como mostra a Figura 5.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO

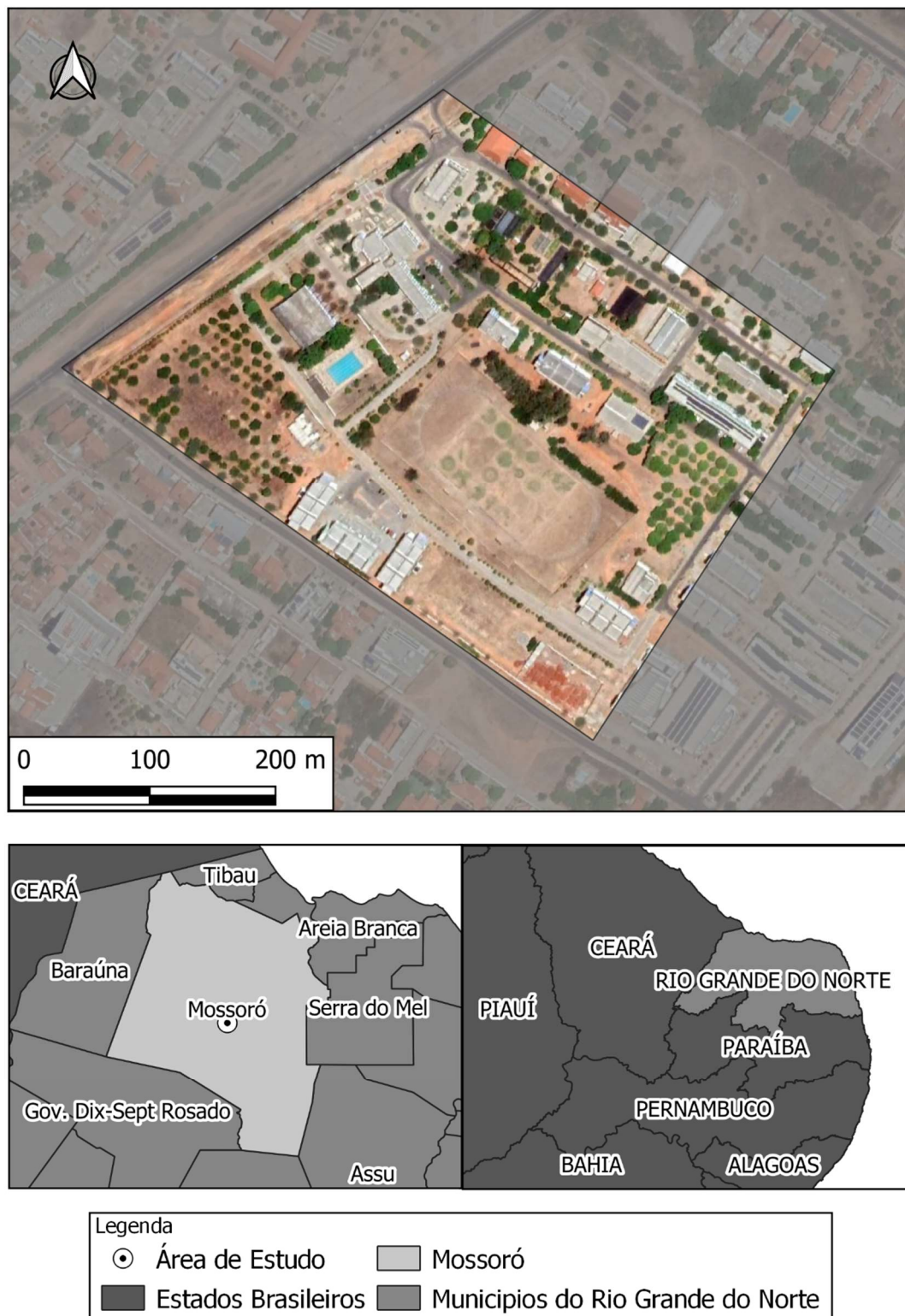


Figura 5, Área de estudo. Fonte: Autoria Própria

4.2 Distribuição dos pontos de controle

Foram distribuídos 24 pontos de controle e 5 pontos de verificação. O critério para distribuição foi uma densidade uniforme dos pontos sob a área e um espaçamento equânime entre eles. Os pontos de controle, PC's, servem para dar precisão ao levantamento e georreferenciá-lo, enquanto os pontos de verificação, PV's, servem para verificar sua precisão por meio da avaliação da precisão das imagens georreferenciadas.

A primeira fase do trabalho constará em realizar um estudo para analisar a quantidade de pontos necessárias para conferir precisão adequada. Serão realizados processamentos utilizando 1 a 24 pontos de controle, gradativamente, e analisando qual a precisão, ou seja, o erro calculado pelo próprio software, que indicará qual a faixa de quantidade de pontos será analisada com variação não apenas da quantidade, mas também das posições dos PC's.

Sabendo qual a faixa mínima em que os pontos de controle já conferem precisão adequada ao levantamento, e qual a faixa em que o aumento de pontos não irá mais influenciar significativamente no aumento da precisão, inicia-se a segunda fase do trabalho: realiza-se a mudança da distribuição dos pontos de controle utilizando 3 formas diferentes de distribuição, sendo distribuídas apenas nas bordas da área, apenas no centro da área, e distribuídos na borda e no centro. A seguir, mostra-se imagens referentes a cada tipo de distribuição representando cada caso proposto a ser processado e analisado.

4.2.1 Casos com 5 pontos de controle

A primeira configuração foi utilizado 5 pontos de controle distribuído nas bordas, um ponto em cada extremidade e um ponto no intermediário na borda na borda sul, assim como mostra a Figura 6.

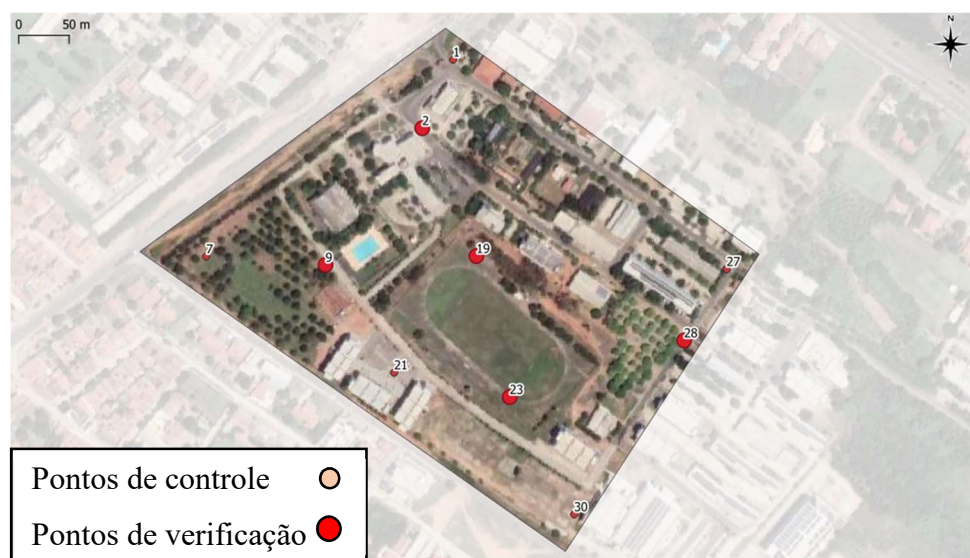


Figura 6. Distribuição na borda com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

Na segunda configuração, também foram utilizados 5 pontos de controle, porém, distribuídos na parte mais central, como mostrado na Figura 7.

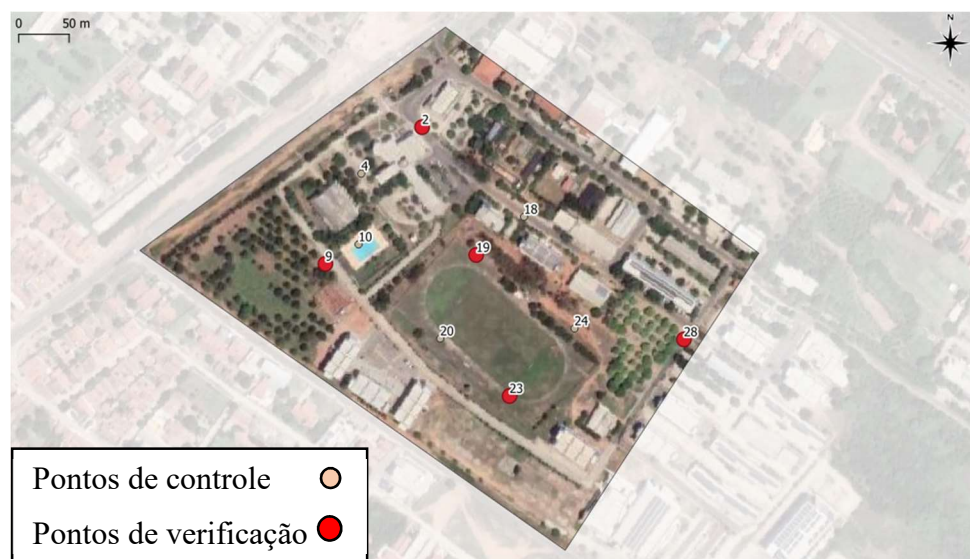


Figura 7. Distribuição no centro com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

Na terceira configuração, 5 pontos de controle foram distribuídos, tentando fazer uma distribuição mais uniforme, com pontos nas bordas e no centro, como representado na Figura 8.

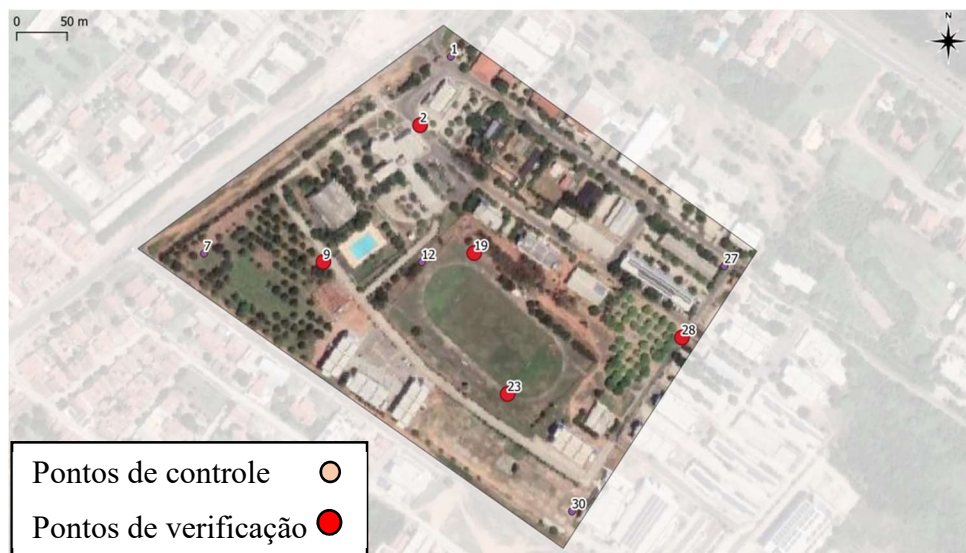


Figura 8. Distribuição na borda e no centro com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

4.2.2 Casos com 6 pontos de controle

Na quarta configuração, tentou-se seguir o mesmo raciocínio que a primeira configuração, porém, utilizando 5 pontos de controle e com a diferença que alguns pontos não ficaram exatamente nas bordas, assim como mostrado na Figura 9.

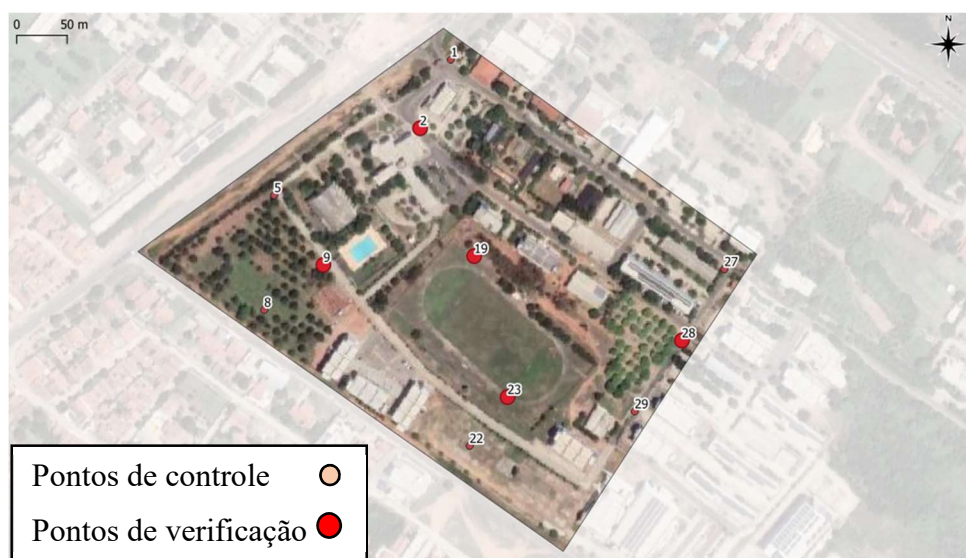


Figura 9. Distribuição na borda com 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

Para a quinta configuração, foi seguido o mesmo raciocínio da segunda configuração, porém, usando 6 pontos de controle, representado na Figura 10.

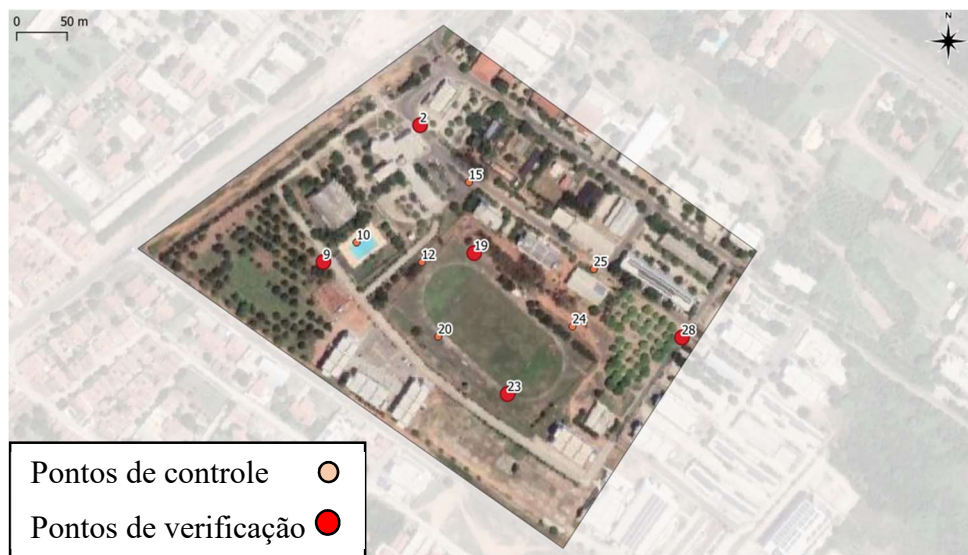


Figura 10. Distribuição no centro com 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

A sexta configuração foi distribuída também com 6 pontos de controle e com a ideia de uniformidade, portanto, tentou-se distribuir pontos no centro e nas bordas, como mostrado na Figura 11.

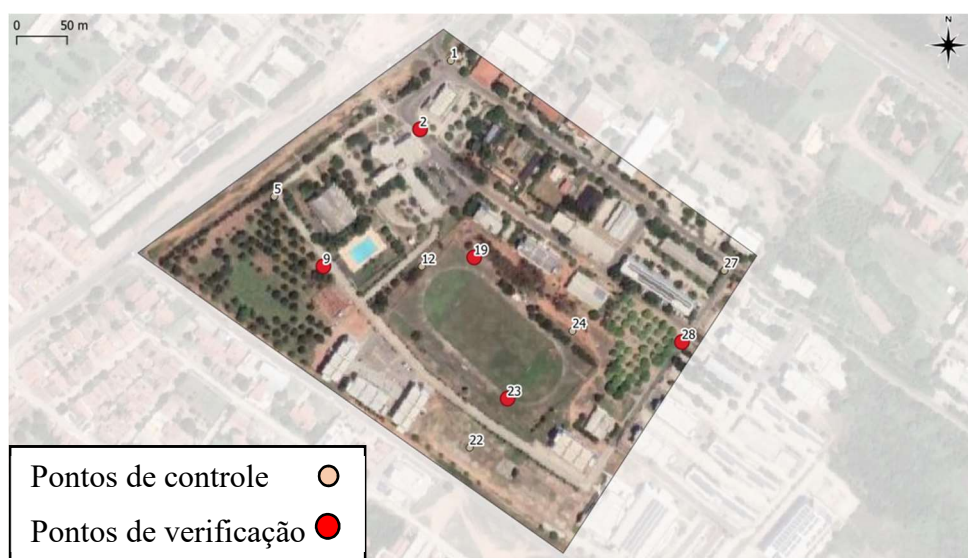


Figura 11. Distribuição na borda e no centro com 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Casos com 7 pontos de controle

A sétima configuração, assim como a primeira e a quarta, tentou-se distribuir pontos de controle nas bordas, com 7 pontos de controle, representado na Figura 12.

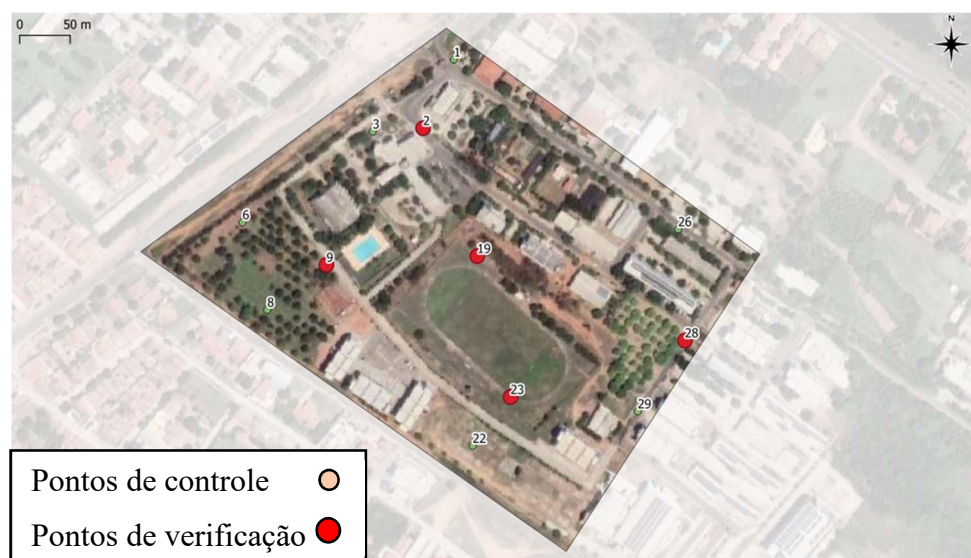


Figura 12. Distribuição na borda com 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

Na oitava configuração objetivou-se distribuir os 7 pontos de controle no centro, como mostrado na Figura 13.

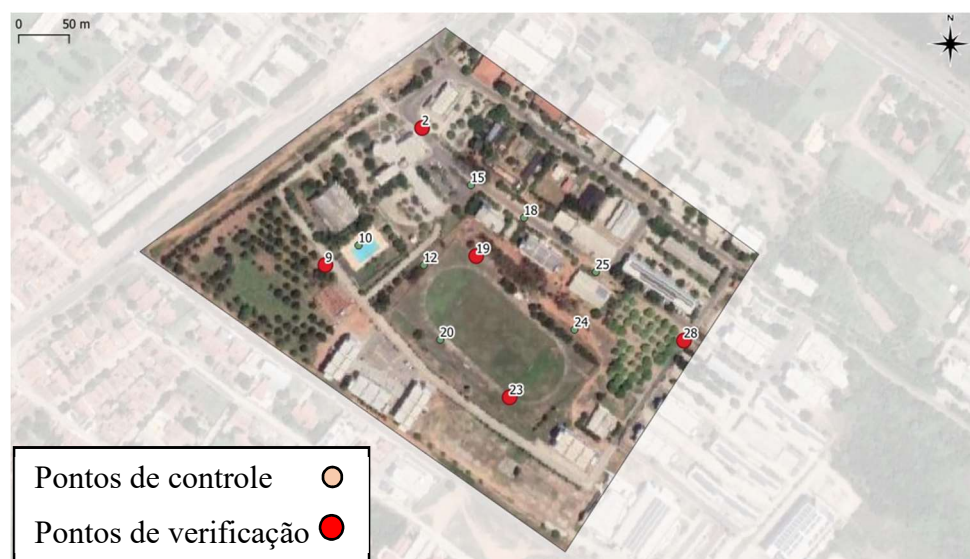


Figura 13. Distribuição no centro com 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

A penúltima configuração também teve como objetivo uma distribuição mais uniforme, com 7 pontos de controle, mostrado na Figura 14.

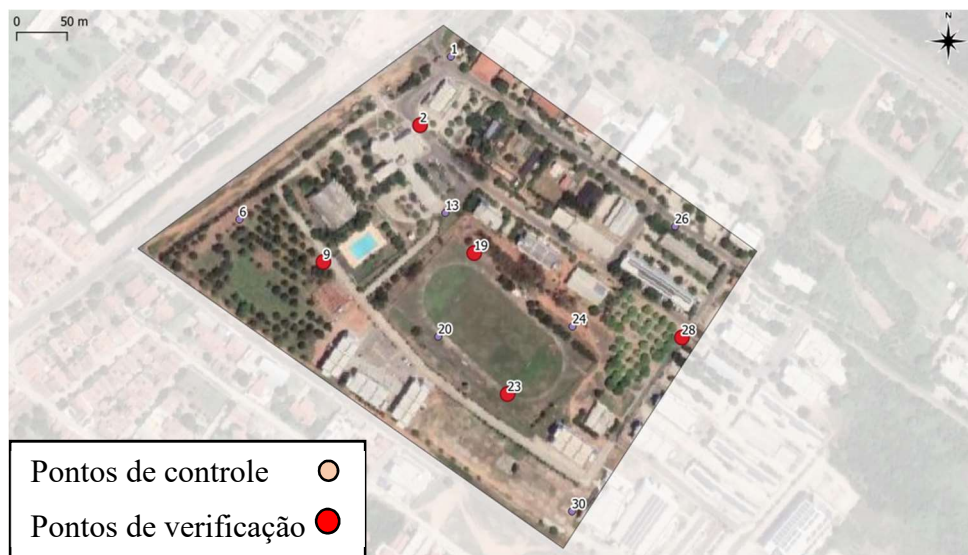


Figura 14. Distribuição na borda e no centro com 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

4.2.4 Todos os pontos de Controle

A última configuração mostra a distribuição de todos os pontos de controle utilizados no estudo, Figura 15.

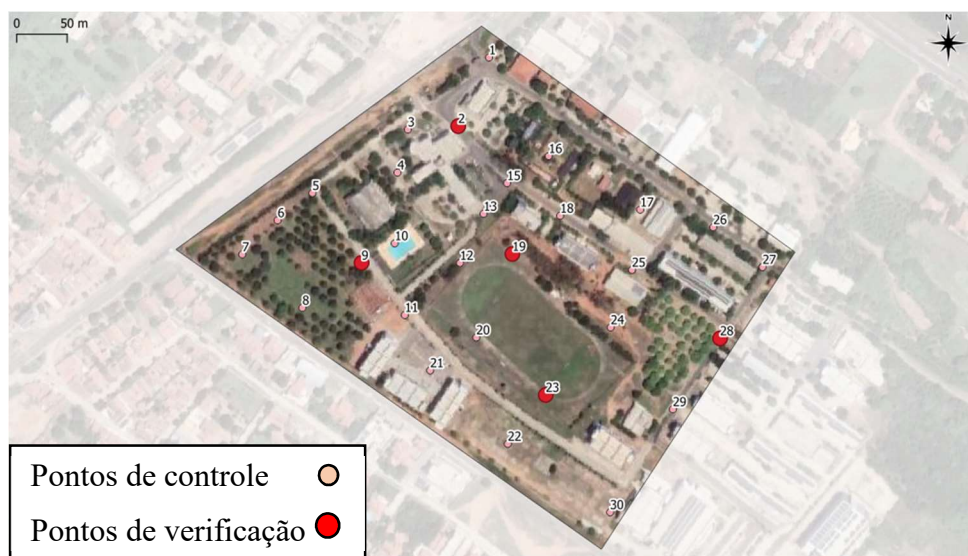


Figura 15. Todos os pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

4.3 Equipamentos utilizados

4.3.1 ARP

Aeronave do tipo quadricóptero, modelo Phantom 4 RTK da marca DJI com funções de mapeamento, que opera com máxima de 1 Km² para um único voo podendo alcançar um GSD de até 5 cm. Possui GNSS de alta precisão com multi-sistema de

frequência e uma base em solo capaz de corrigir em tempo real as coordenadas, fornecendo precisão de posicionamento na vertical de $1,5\text{cm} + 1\text{ppm}$ e na horizontal de $1\text{cm} + 1\text{ppm}$. (1 ppm significa que o erro tem um aumento de 1 mm para cada 1 km de movimento da aeronave). Baterias com autonomia de voo de 30 minutos e GPS do tipo GNSS RTK e um controle remoto com frequência de operação de 2.400 GHz – 2483 GHz, este possui embarcado uma câmera de 20 Mega pixel.



Figura 16. Phantom 4 RTK. Fonte: Autoria Própria

4.3.2 GNSS RTK

Modelo: GNSS RTK X91; Tempo de inicialização RTK: abaixo de 10 segundos; Sinais rastreados: GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5; GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3; SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS; Galileo: E1, E5A, E5B e BeiDou: B1, B2; Rádio interno de 1w; Memória interna de 4GB; Precisão horizontal $8\text{mm} + 1\text{ppm}$ e Precisão Vertical $15\text{mm} + 1\text{ppm}$.



Figura 17. GNSS RTK. Fonte: Autoria Própria

4.4 Método do levantamento

Primeiramente, em laboratório é feito o plano de voo para a ARP a partir da definição da poligonal de interesse, onde é gerado um arquivo em formato .KML para inserção no controle do drone e posterior configuração. Outro produto gerado no laboratório é um mapa ou documento .KMZ a ser aberto por meio da ferramenta Google Earth, utilizado para que, em campo, seja possível posicionar os pontos de controle e verificação nos locais adequados.

Em campo, foram aplicadas as conFigurações de voo definidas em laboratório, sendo elas: voo de forma autônoma com as seguintes conFigurações básicas: voo com rota em quadrícula planimétrica 2D, altura de 100 metros, sobreposição vertical de 80%, sobreposição horizontal de 60%.

Já em campo, de início, foram distribuídos todos os pontos de controle e de verificação. Tal distribuição foi realizada com o uso de alvos, como mostrado na Figura 18, ou por meio de materialização de pontos naturais que possam ser visualizados facilmente pela câmera da aeronave, podendo também ser pintados no solo.



Figura 18. Alvo. Fonte: Acesso a Terra Urbanizada

Após a distribuição dos alvos, foi realizada a coleta das coordenadas dos mesmos com auxílio do GNSS-RTK, respeitando-se o tempo mínimo de posicionamento da base do GNSS para alcance da precisão, e posteriormente foi realizado o voo da ARP para realização da captura de imagens que irão compor o ortomosaico.

4.5 Obtenção dos resultados

Com as imagens obtidas pela ARP e com as coordenadas corrigidas obtidas pelo GNSS RTK, foi feito o processamento das imagens no software Agisoft Metashape em 6 passos principais, sendo eles respectivamente: Alinhamento das imagens capturadas, construção da nuvem densa de pontos, construção do modelo 3D, construção da textura, construção do modelo digital de elevação e por último, construção do ortomosaico, que é a junção de todas as imagens capturadas pela ARP.

Cada um dos processamentos previamente planejados foi processado separadamente para que seus produtos não tivessem influência alguma dos outros.

A partir dos relatórios gerados pelo Agisoft Metashape foi obtido o erro geral nos pontos de verificação no plano XY em cada caso, a partir deles foram gerados os gráficos para análise da variação dos parâmetros.

5. RESULTADOS

5.1 Análise de acordo com a forma de distribuição

A Figura 19 apresenta o erro estimado para a situação em que foram usados 5 pontos de controle em diferentes formas de distribuição. Verificou-se que o erro médio foi de 2,96 cm e que a melhor acurácia (menor erro) foi na distribuição em que posicionou 4 pontos de controle na borda e 1 no centro. O maior erro, por sua vez, foi registrado quando se empregou a distribuição dos pontos de controle apenas nas bordas da área estudada.

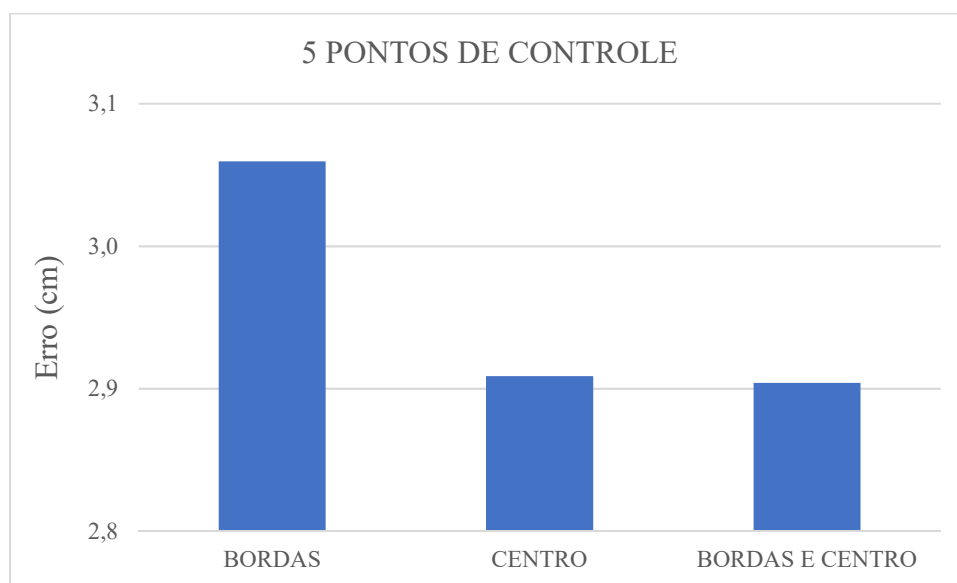


Figura 19. Mesma quantidade de pontos de controle, distribuições diferentes - 5 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

A Figura 20 apresenta o erro estimado para a situação em que foram usados 6 pontos de controle em diferentes formas de distribuição. O erro médio foi de 2,78 cm e que a melhor acurácia (menor erro) foi ligeiramente melhor na distribuição em que posicionou 6 pontos de controle na borda. O maior erro, foi registrado quando se empregou a distribuição dos pontos de controle no centro da área estudada.

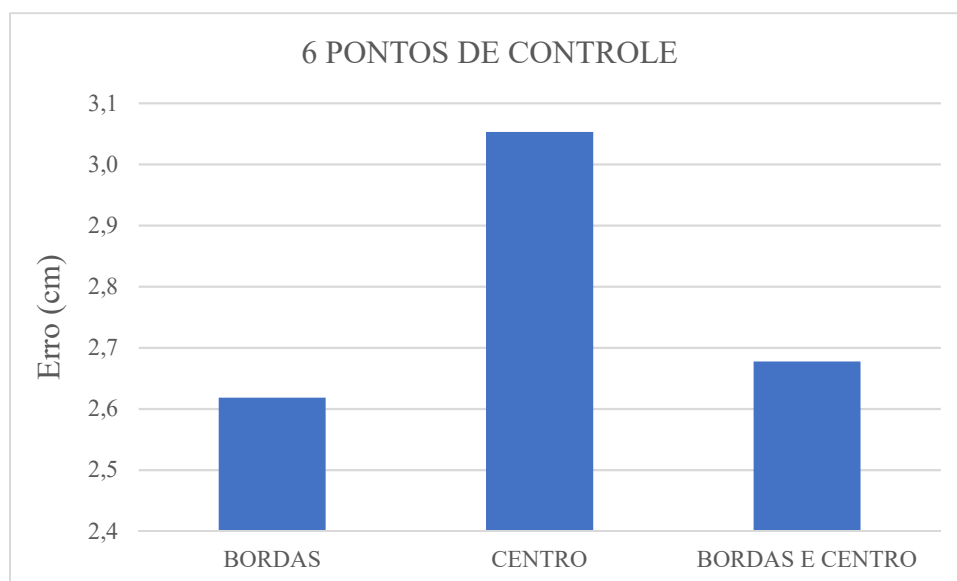


Figura 20. Mesma quantidade de pontos de controle, distribuições diferentes - 6 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

A Figura 21 apresenta o erro estimado quando se utilizou 7 pontos de controle em diferentes formas de distribuição. Verificou-se que o erro médio foi de 3,30 cm e que a melhor acurácia (menor erro) foi ligeiramente melhor na distribuição em que posicionou 7 pontos de controle na borda. O maior erro foi apontado quando se empregou a distribuição dos pontos de controle nas bordas e no centro da área estudada.

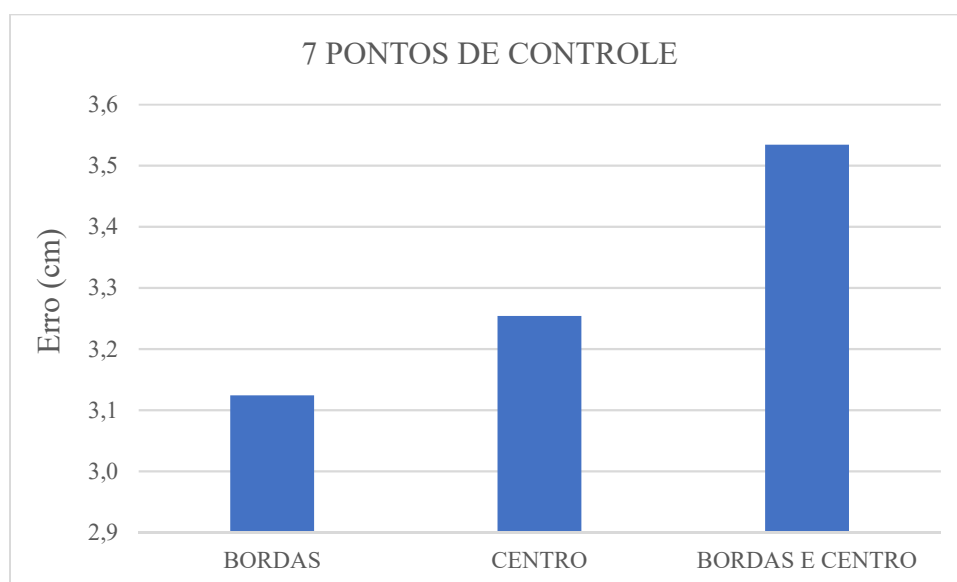


Figura 21. Mesma quantidade de pontos de controle, distribuições diferentes - 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

5.2 Análise de acordo com a quantidade de pontos de controle

A Figura 22 apresenta o erro estimado quando a distribuição foi feita nas bordas e a quantidade de pontos de controle varia de 5 até 7. Foi observado um erro médio de 2,94 cm e que a melhor acurácia (menor erro) foi na distribuição em que se utilizou 6 pontos de controle. O maior erro foi apontado quando se empregou 7 pontos de controle.

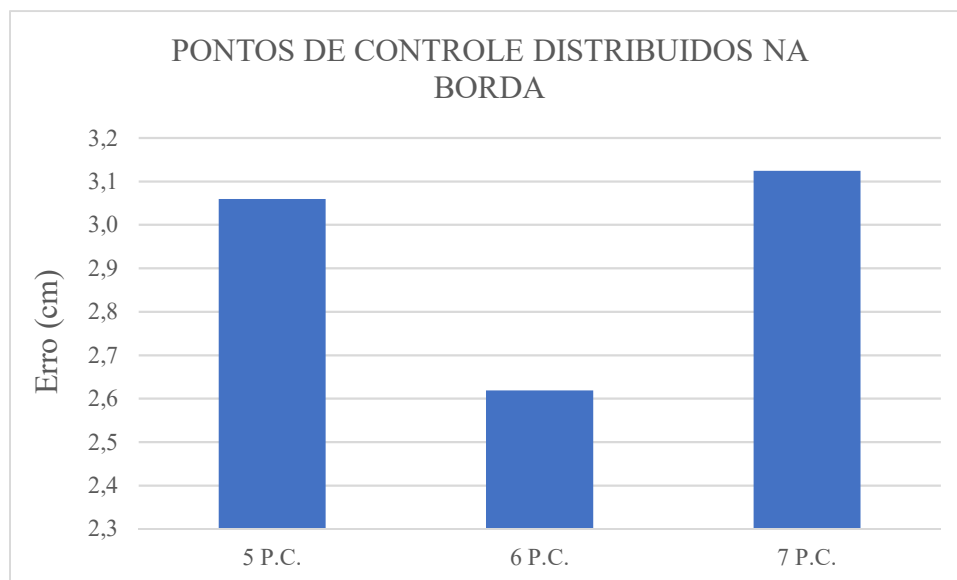


Figura 22. Mesma distribuição, quantidade de pontos de controle diferente – Bordas. Fonte: Autoria Própria

A Figura 23 apresenta o erro estimado quando a distribuição foi feita no centro e a quantidade de pontos de controle varia de 5 até 7. Foi observado um erro médio de 3,07 cm e que a melhor acurácia (menor erro) foi na distribuição em que se utilizou 5 pontos de controle. O maior erro foi apontado quando se empregou 7 pontos de controle.

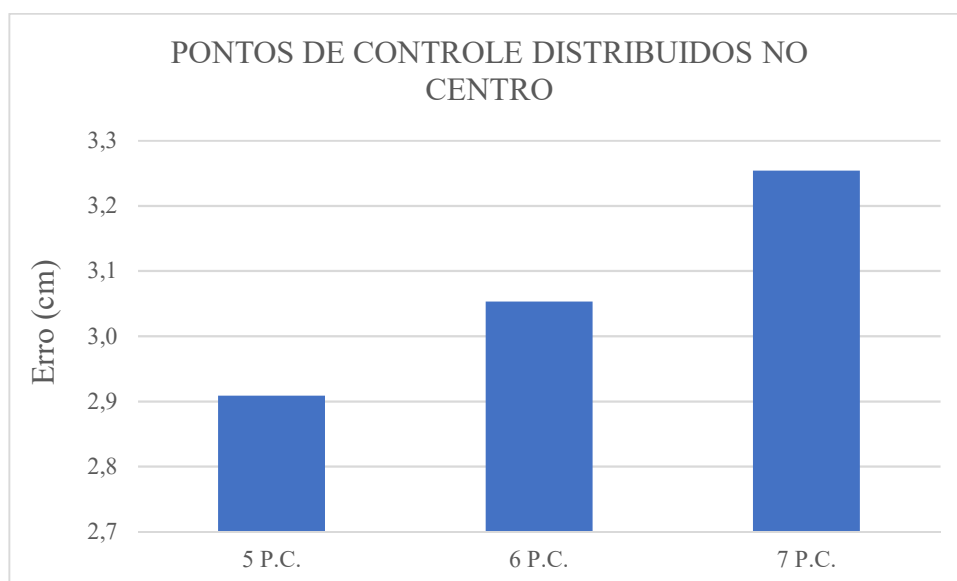


Figura 23. Mesma distribuição, quantidade de pontos de controle diferente – Centro. Fonte: Autoria Própria

A Figura 24 apresenta o erro estimado quando a distribuição foi feita nas bordas e no centro, a quantidade de pontos de controle varia de 5 até 7. Foi observado um erro médio de 3,04 cm e que a melhor acurácia (menor erro) foi na distribuição em que se utilizou 6 pontos de controle. O maior erro foi apontado quando se empregou 7 pontos de controle.

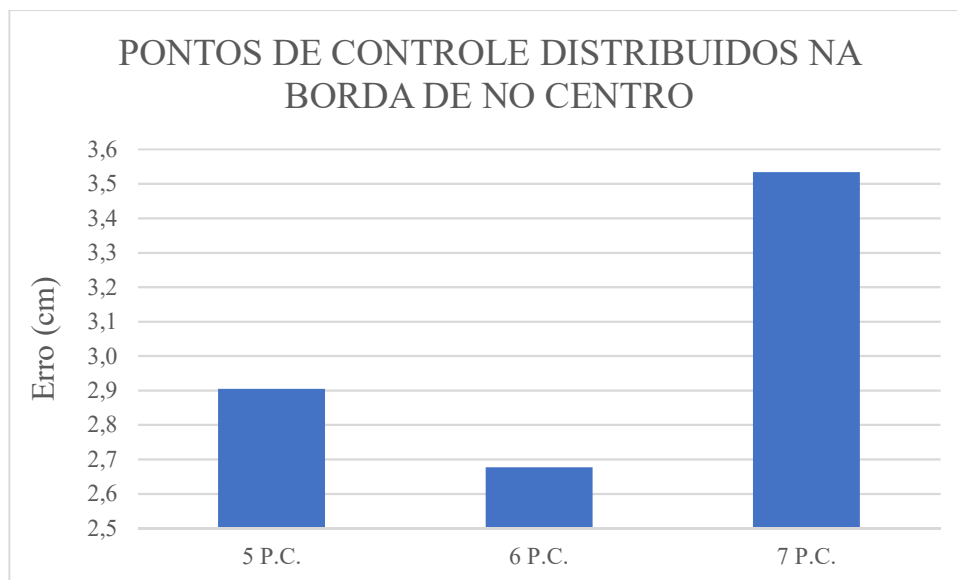


Figura 24. Mesma distribuição, quantidade de pontos de controle diferentes – Bordas e Centro. Fonte: Autoria Própria

5.3 Melhores resultados obtidos quando usados 5, 6 e 7 pontos de controle

A Figura 25 mostra o que o menor erro foi obtido quando utilizado 6 pontos de controle, embora, seja uma diferença muito pequena em relação a quando usado 5 pontos de controle (0,3 cm) e 7 pontos de controle (0,5 cm).

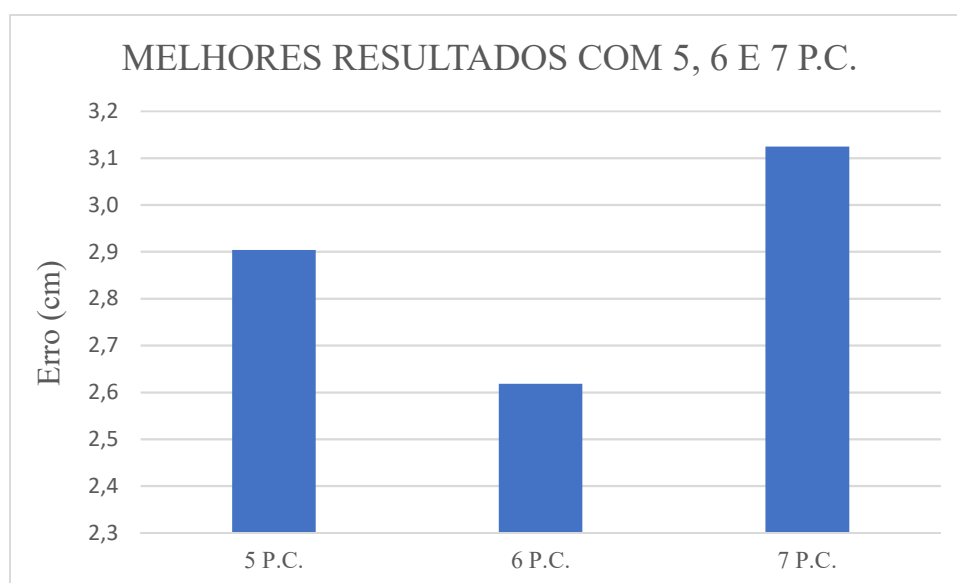


Figura 25. Menores erros utilizando 5, 6 e 7 pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

5.4 Análise de acordo com o aumento na quantidade de pontos de controle

Na Figura 26, foi mostrado que a analisar a precisão de acordo com o aumento gradual da quantidade de pontos de controle, percebeu-se que houve aumento e diminuição do erro de acordo com o aumento da quantidade de pontos de controle, observou-se apenas uma tendência de diminuição do erro.

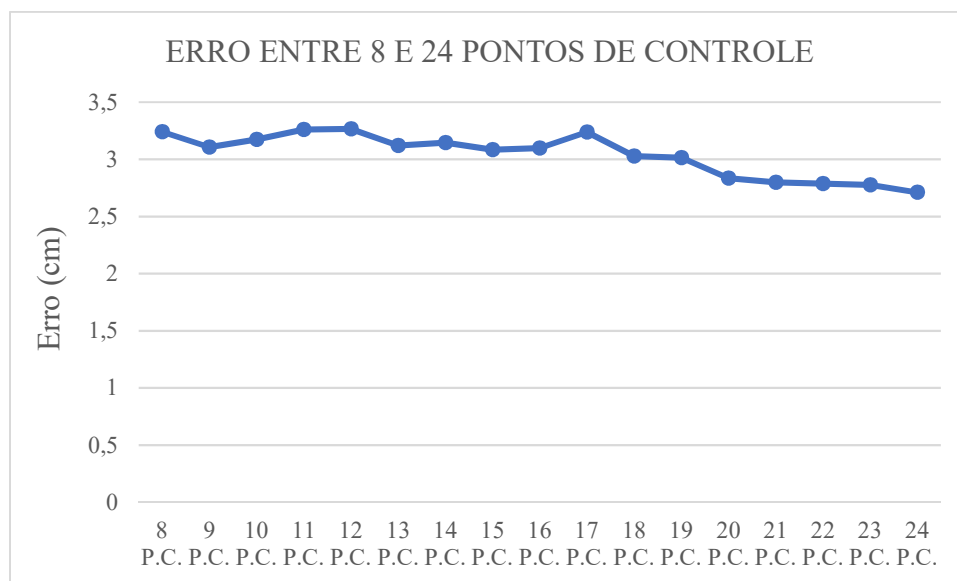


Figura 26. Aumento gradual dos pontos de controle. Fonte: Autoria Própria

Ficou evidente que para tal área de estudo, o aumento na quantidade de pontos de controle causa uma diferença muito pequena na qualidade do produto, entre 8 pontos de controle e 24 pontos de controle, a diferença foi de menos de 1 cm.

5.5 Discussões

Os resultados obtidos servem para auxiliar na decisão de onde e como distribuir os pontos de controle, observou-se que uma boa forma de distribuição pode apresentar uma melhor precisão se comparado a uma distribuição aleatória com menos pontos de controle. Pode-se mostrar isso usando o caso em que 5 pontos de controle foram distribuídos na borda e no centro, apresentando um erro de aproximadamente 2,9 cm, já uma distribuição aleatória utilizando 19 pontos de controle apresentou um erro de aproximadamente 3 cm.

Ao realizar o planejamento inicial em laboratório de onde e como distribuir os pontos de controle, em alguns locais pode-se encontrar algumas situações específicas, como por exemplo, um rio que passa no meio da área que será levantada, ou uma área

que tenha uma vegetação densa nas bordas, impossibilitando a distribuição nas mesmas. Com os resultados obtidos nessa pesquisa, é possível tomar uma melhor decisão na distribuição, 6 pontos de controle nas bordas apresentou um erro de aproximadamente 2,6 cm e 5 pontos de controle no centro mostra um erro de aproximadamente 2,9 cm.

Muitas vezes em campo percebe-se que não é possível colocar algum ponto de controle no local previamente estabelecido em laboratório, devido a fatores externos, como por exemplo, um local que não é possível ter acesso ou alguma propriedade privada. Em vez de realocar esse ponto de controle em local aleatório, pode-se embasar a escolha do novo local com essa pesquisa, pois, é mostrado o erro de várias formas de distribuição e com quantidades diferentes de pontos de controle.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho conseguiu realizar a proposta de análise para estudo de variação de parâmetros e indicou que o aumento da densidade de pontos de controle influi minimamente na precisão final encontrada, sendo mais importante a sua distribuição.

Levantamentos de pequenas áreas urbanas podem utilizar quantidades mínimas de pontos de controle (até 5 PCs) sem variações bruscas na precisão, afinal, o decreto nº 9.310 de 2018, exige que para regularização fundiária urbana, por exemplo, sejam utilizados no máximo 8 centímetros de erro e o maior erro encontrado para 5 pontos de controle foi inferior a 3,1 cm.

Indica-se a reprodução da presente metodologia com a variação de outros parâmetros, como a sobreposição de imagens e também dos mesmos parâmetros com áreas maiores, menores e com grandes diferenças de altimetria.

REFERÊNCIAS

AGRIMENSURA, e. C. E., & lima, g. O. Estudo comparativo entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrico) para fins de elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em belém. Acesso em: 22 maio de 2022.

ALMEIDA, I. D. C., COSTA, G. C., Silva, D. C., & Medeiros, J. R. B. (2014). Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. Universidade Católica de Pernambuco. Recife.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de levantamento topográfico, NBR 13133 Rio de Janeiro, 1994.

BORGES, A. C. Topografia: aplicada a engenharia civil, São Paulo: Edgard blucher, 2006.

BRANDALIZE, Maria Cecília B. Apostila de Topografia para Engenharia Civil e Arquitetura. Paraná. PUC-PR. 2008. Disponível em: http://www.georeferencial.com.br/old/material_didatico/TOPOGRAFIA_brandalize.pdf . Acesso em 27 de maio de 2022.

BRASIL, Decreto 9.310/2018, Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana e estabelece os procedimentos para a avaliação e a alienação dos imóveis da União. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9310.htm#:~:text=DECRETO%20Nº%209.310%2C%20DE%2015,alienação%20dos%20imóveis%20da%20União.. Acesso em: 22 de maio de 2022.

DJI. DJI. Disponível em: <https://www.dji.com/br>. Acesso em: 10 maio de 2022.

EISENBEISS, Henri et al. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 36, n. 5/W1, p. 1-7, 2004.

FIGUEREDO, R. H. B. Estudo de caso: custo-benefício de levantamentos topográficos planimétricos realizados sob o uso de drone, georreferenciamento rtk e estação total. 2019.

FORTUNATO, J. C. Topografia com Drones x Tradicional em Levantamentos Planialtimétricos. 2018.0 Acesso em: 27 maio de 2022

FRANÇA, R. M. de. CABRAL, Cesar Rogério. HASENACK, Markus, 2018. Princípios de Geodésia Elementar. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura/files/2018/08/principios_de_geodesia_elementar.pdf > Acesso em: 29 de abril de 2022.

FRANCISCO JÚNIOR. O QUE É UM MOSAICO? 2021. Disponível em: <https://www.dronevisual.com/post/o-que-é-um-mosaico>. Acesso em: 25 maio 2022.

GIOVANINI, Adenilson. Estereoscopia: O Que É e Como Funciona? Disponível em: <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/estereoscopia-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 26 maio 2022.

LIMA, P. D. R. Aerofotogrametria por meio de VANTS: análise da viabilidade no levantamento planialtimétrico. 2018.

MAPPA. Sobreposição de imagens: por que ela é importante? Disponível em: <https://mappa.ag/blog/sobreposicao-de-imagens-por-que-ela-e-importante/>. Acesso em: 01 maio de 2022.

MCCORMAC, Jack C. Topografia. Rio de Janeiro: LTC, 5ª ed., 2007.

MIGUEL, P. A. C. (org.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

NEWCOME, L. R. Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aviation. Universidade de Michigan, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004

OLIVEIRA, G. H. de. o uso de veículos aéreos não tripulados (vants) nos diversos campos da engenharia. 2022. disponível em: <https://assenab.com.br/o-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vants-nos-diversos-campos-da-engenharia/>. Acesso em: 25 de maio 2022.



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos quinze dias do mês de junho do ano de 2022, reuniu-se banca examinadora para avaliar trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil intitulado: **INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE NA PRECISÃO DE ORTOIMAGENS DE ÁREAS URBANAS GERADAS POR RPAs**, do(a) aluno(a) RUAN HENRIQUE BARROS FIGUEREDO, matriculado(a) sob o nº 2019023349, tendo como orientador(a) o/a Prof(a). Dr(a). Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes. Pelos Professores/Membros da banca foi atribuído o resultado:

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes – UFERSA/Mossoró

Assinatura: _____

Coorientador(a): Eng(a). Vinícius Navarro Varela Tinoco – UFERSA/Mossoró

Assinatura: _____

Examinador(a): Prof(a). M.sc(a) Brenno Dayano Azevedo da Silveira – UFERSA/Mossoró

Assinatura: _____

BRENNO DAYANO
AZEVEDO DA
SILVEIRA:01362045462

Assinado de forma digital por
BRENNO DAYANO AZEVEDO DA
SILVEIRA:01362045462
Dados: 2022.06.18 15:54:01 -03'00'

Examinador(a): Eng(a). Esp. Pedro David Rodrigues Lima – UFERSA/Pau dos Ferros

Assinatura: _____

PEDRO DAVID RODRIGUES
LIMA: 06545970305 CREA:
061922113-5

Assinado de forma digital por
PEDRO DAVID RODRIGUES LIMA:
06545970305 CREA: 061922113-5
Dados: 2022.06.20 00:28:34 -03'00'

O(a) aluno(a) foi Aprovado.
(aprovado/reprovado)