

Comparação da eficiência de levantamentos planialtimétricos feitos com RPA em diferentes alturas de voo

Daniel Corcino Tavares¹, Paulo César Moura da Silva²

¹ Graduando do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: danielcorcino3@gmail.com. Autor apresentador correspondente.

² Doutor em Recursos Naturais, Professor Associado, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: paulo.moura@ufersa.edu.br. Orientador.

Resumo: Os equipamentos estação total e GPS RTK tem sido utilizados com bastante frequência e sucesso na realização de levantamentos planialtimétricos de terrenos. Porém, esses instrumentos requerem conhecimentos especializados para serem utilizados, exigem grande investimento financeiro, demandam muito tempo em campo e são demasiadamente suscetíveis a erros humanos. Uma alternativa que tem se mostrado promissora são as Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA's), que são de fácil operação e geram produtos planialtimétricos mais rápido e cobrindo áreas maiores. No entanto, uma série de fatores pode influenciar no resultado final dos levantamentos planialtimétricos feitos com esses equipamentos, a exemplo da altura de voo. Assim, faz-se necessário um estudo para comparar a eficiência de levantamentos planialtimétricos feitos com RPA em diferentes alturas de voo. Neste trabalho avaliou-se o efeito de diferentes alturas de voos, a 50, 75 e 100 m, na qualidade do levantamento planialtimétrico de dois terrenos de um condomínio residencial do município de Mossoró-RN. Foi utilizado um RPA da marca DJI e modelo Phantom 4 Advanced. O processamento das informações obtidas foi feito no Agisoft Metashape e no QGIS, tendo em vista a geração dos produtos topográficos. Calculou-se o número de pixels por modelo digital de elevação gerado, como também os parâmetros estatísticos para determinar o nível de detalhamento de cada levantamento. Verificou-se que o levantamento que possui melhor detalhamento e mais indicado para áreas nesta escala são os realizados com altura de voo de 50 m, sendo ainda, a altura de 75 m a que apresentou o pior resultado.

Palavras-chave: Agisoft. QGIS. Topografia. MDE.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem sua particularidade quanto a necessidade de estudos planialtimétricos para se obter dados do terreno onde se deseja implantar um projeto, onde os empreendimentos de engenharia logo em sua fase inicial precisam analisar a topografia do terreno para que sejam tomadas as primeiras decisões.

No entanto, esse trabalho é feito normalmente com equipamentos que demandam experiência de utilização, tempo de trabalho em campo e no pós-processamento, além de serem suscetíveis a erros que podem influenciar no resultado final desejado.

Por outro lado, as geotecnologias e o uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), popularmente conhecidas como DRONES, estão sendo largamente utilizadas, pois auxiliam nesse processo trazendo autonomia já que as aeronaves fazem voos automatizados, aumentando também a eficiência, considerando que os voos são rápidos e cobrem uma área de estudo maior considerando ainda a facilidade de operação dos RPA's. O que justifica o desenvolvimento de pesquisas para prever a melhoria da eficiência e qualidade dos levantamentos.

Os RPA's possuem uma câmera de alta qualidade e um sensor sônico, e por meio desses equipamentos permitem obter dados de altimetria rapidamente com precisão de centímetros sobrevoando o terreno, porém esses dados podem ser influenciados por fatores como calibragem dos sensores, configurações de câmera e altura de voo.

Dentre esses fatores que são considerados importantes nesta atividade, a altura de voo é o que causa mais dúvida ao operador por gerar uma série de implicações, pois quanto mais alto se faz o levantamento, mais rápido é o voo, menor é o tamanho do arquivo de imagem gerado e mais rápido é o processamento. Por outro lado, menor é o nível de detalhamento das imagens e a fidelidade dos dados coletados. Por esse motivo, surge a carência de um estudo que compare os pontos positivos e negativos da variação de altura de voo em levantamentos planialtimétricos feitos com RPA's.

A topografia é uma área importante para as engenharias e é baseada no estudo de pontos de um terreno com uso de cálculos matemáticos para descrever a superfície. A topografia pode ser dividida em duas áreas principais que são a planimetria e a altimetria. A planimetria é a topografia especializada no estudo de métodos e procedimentos que avaliam o terreno sem considerar o relevo e a altitude buscando uma representação apenas na direção horizontal. Já a altimetria pode ser definida como a topografia que realiza a medição de altura, buscando caracterizar superfícies com base em seu relevo e altitude (Río-Santana et al., 2019) [1].

Segundo Ferreira (2014) [2] as geotecnologias estão sendo cada mais vez mais utilizadas nas tomadas de decisões em diversas áreas do conhecimento, ou até mesmo no dia a dia das pessoas que possuem acesso a imagens de satélites e dados georreferenciados nos seus dispositivos móveis. Porém o aumento do uso desses recursos gerou uma série de demandas por mais dados com maior qualidade, atualizações de imagens mais frequentes e resoluções maiores. Com o intuito de suprir essa nova demanda surge a utilização dos VANT's (veículos aéreos não tripulados) para coletar dados de áreas pequenas e com alto nível de detalhes. Em sua obra Ferreira (2014) reitera que "O uso de um VANT para levantamentos planialtimétricos possibilita a obtenção de dados com curto intervalo de tempo a partir de imagens com resolução espacial de até 1cm, ampliando a capacidade produtiva de equipes de levantamento e diminuindo os custos da operação".

Segundo Fortunato (2018) [3], os RPA's utilizados na aerofotogrametria possuem câmeras acopladas com a finalidade de obter fotos aéreas, que em conjunto com outros parâmetros, podem gerar dados topográficos mais detalhados e eficientes quando comparados com métodos tradicionais como Estação Total e GNSS RTK. Com a utilização do VANT as aferições são muito mais ágeis e precisas, pois são coletadas imagens georreferenciadas e ortorretificadas que permitem a obtenção do modelo digital do terreno (MDT). Sendo assim, é possível entregar a análise topográfica do terreno mais rapidamente e com maior qualidade, pois são gerados dados com maior nível de detalhes e maior produtividade.

De acordo com Lugo et al. (2019) [4], "a uma altura de voo mais elevada, verifica-se uma maior diferença nos resultados obtidos nas alturas nos diferentes modelos digitais de terreno em relação ao voo realizado a uma altitude inferior a 50 metros". Ou seja, a diferença no número de pontos coletados e suas cotas em altitudes acima de 50 metros são consideráveis. Em seu trabalho, Lugo et al. (2019) [4] destacou ainda que houve uma diferença significativa entre os resultados dos voos a 75 e 100 metros, onde percebeu-se que entre 0 e 4 centímetros de diferença na cota dos pontos, no voo feito a 75 metros de altura foi obtido 7,45% mais pontos que no voo realizado a 100 metros. No referido trabalho foi concluído que para estudos futuros é recomendado utilizar diferenças de altura não inferiores a 25 metros para que esse parâmetro de estudo tenha mais peso na obtenção dos resultados a comparar.

Diante das informações expostas, espera-se que o levantamento feito a 50 metros apresente mais detalhes e represente melhor a área em estudo. Por esse motivo, o presente trabalho procurou avaliar a qualidade dos dados planialtimétricos medidos por um RPA em alturas de voo com diferença de 25 metros entre si.

Nesse aspecto, foi realizado um estudo com o RPA e geotecnologias que permitem processar as imagens, mensurar os dados, criar mapas e gerar produtos topográficos, para diferentes finalidades.

Então, o objetivo desse trabalho foi determinar qual altura de voo tem melhor resultado para áreas de menor porte e em levantamentos que utilizam apenas o RPA em campo, com o auxílio de geotecnologias que permitem a produção de mapas e processamento das imagens.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Metodologia

2.1.1 Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa foi realizada no estado do Rio Grande do Norte, no município de Mossoró, localizado na região nordeste do Brasil, pertencente à microrregião de Mossoró e a mesorregião Oeste Potiguar. O município possui uma área territorial de 2.099,334 km² (IBGE, 2020) [5], encontra-se localizado nas coordenadas geográficas 5°10'55.96" de latitude sul e 37°20'52.77" de longitude oeste, e possui 20 metros de altitude acima do nível do mar, em média. O município possui, ainda, uma população estimada de 303.792 habitantes e uma densidade demográfica de 123,76 hab/km² (IBGE, 2010) [6].

No município em estudo citado anteriormente, a coleta de dados foi feita em duas áreas localizados no bairro Rincão, em um condomínio residencial com localização de 5°11'14.12" de latitude sul e 37°18'12.41" de longitude oeste. Foram definidos dois lotes, o primeiro possui área de 2.744 m², e o segundo de 1.982 m² (Figura 1). As duas áreas de estudo são destinadas a construção civil de residências, por essa razão os terrenos se encontram limpos e com marcadores de delimitação da área de construção.

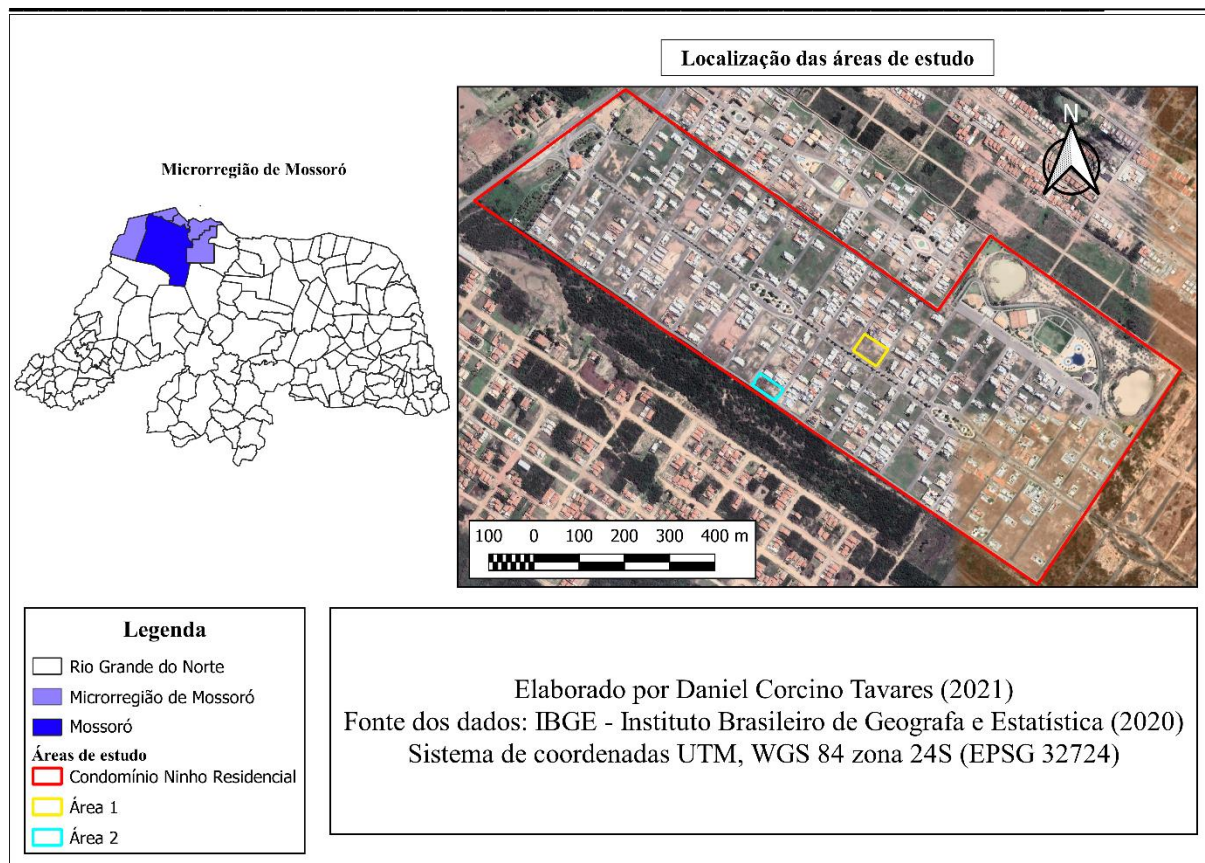


Figura 1. Mapa de localização das áreas de estudo (Autoria própria)

2.1.2 Materiais

Para ser feito o voo sobre as áreas de estudo e coleta dos dados foi utilizado um RPA da fabricante DJI modelo Phantom 4 Advanced, que pesa 1,369 kg, com tempo de voo máximo de 30 minutos e resistência máxima para ventos de até 36 km/h. Esse equipamento possui uma câmera de 20 megapixels, com distância focal de 24 mm e abertura de f/2.8. Além disso, utiliza um sistema de posicionamento por satélites do tipo GPS (Sistema de Posicionamento Global) e GLONASS (Sistema Global de Navegação por Satélite) para orientação espacial e um sensor IMU (Unidade de Medida de Inércia) que é usado para fundir as leituras do giroscópio e acelerômetro possibilitando maior precisão de voo.

Quando se faz o voo no local de estudo o primeiro produto são as imagens brutas que foram capturadas pelo RPA, essas imagens precisam ser tratadas para que possam ser extraídos os dados de georreferenciamento e de altimetria. Por essa razão, para o pós-processamento das imagens captadas pelo RPA, foi utilizado o software Agisoft Metashape 1.7.5 [7], na versão de 30 dias grátis, que oferece a possibilidade de gerar a ortofoto (imagem com todos os pontos na mesma escala e georreferenciada) e o Modelo Digital de Elevação (MDE). Em complemento, foi utilizado o software livre e gratuito QGIS, versão 3.16.4 [8], para classificação, organização e vetorização dos produtos obtidos no Agisoft Metashape, bem como para elaboração final e impressão dos mapas temáticos.

2.1.3 Métodos

Como o objetivo do trabalho foi comparar a eficiência de levantamentos planialtimétricos em diferentes alturas de voo, o ideal é fazer o mesmo estudo em mais de uma área para comparar e analisar se os resultados se repetem, por essa razão foram escolhidas duas áreas. Um princípio seguido é o de trabalhar com terrenos de pequeno porte e que são designados para a construção civil, escolhendo assim as áreas já citadas que além da escala reduzida já estão limpas, o que facilita a visualização do terreno.

Para tal levantamento foi escolhido variar as alturas de voo em intervalos de 25 metros, para que exista uma mudança significativa nos resultados. Sendo assim, foram feitos três voos em cada área com alturas de 50, 75 e 100 metros. Uma das premissas do trabalho é utilizar o mínimo de equipamentos possível diminuindo o custo do levantamento, a expertise do operador, o tempo de coleta de dados e buscando entender a eficiência dos levantamentos planialtimétricos feitos exclusivamente com o RPA, por essa razão não foi utilizado nenhum outro aparato para medição de pontos de controle por exemplo.

Seguindo o mesmo raciocínio, o único GPS utilizado foi o do próprio RPA, além disso, as medidas de

altimetria foram feitas considerando o ponto de decolagem e não o nível do mar. Isso é possível pois para efeitos de comparação foi utilizado a diferença de cota e não a cota absoluta que, nesse caso, não é relevante.

Os voos foram feitos de maneira autônoma para conferir maior precisão, para isso foi utilizado o aplicativo *Pix4D Capture* [9] no sistema *IOS* que possibilita a automação e garante que todos os voos sejam mais semelhantes possível. Vale ressaltar que o único parâmetro alterado nos planos de voo foram as alturas da aeronave, outros fatores foram mantidos constantes a exemplo do *overlap* horizontal e vertical em 80% e do ângulo da câmera em 90°.

As leituras feitas pelo RPA são baseadas nos sensores presentes que auxiliam no posicionamento da aeronave e na medição de altimetria do terreno. Esses sensores precisam ser calibrados periodicamente para garantir seu funcionamento correto. Para prevenir esse tipo de problema, a bússola e o IMU foram calibrados uma vez em cada área antes de serem feitos os três voos.

Como citado anteriormente, foi utilizado o *Agisoft Metashape* para processamento das imagens e geração do MDE e da ortofoto. Foram passadas para esse *software* as imagens obtidas pelo RPA de cada levantamento, e para cada altura de voo, nas duas áreas foram realizados os mesmos passos de procedimento. O *software* em questão funciona aplicando fluxo de trabalho, isso significa que existe uma ordem para o tratamento das imagens.

Seguindo esse fluxo, depois da importação foi realizado o alinhamento das imagens criando uma nuvem de pontos fotogramétricos georreferenciados chamada de *tie points*. Como segundo passo foi construído a nuvem densa de pontos, o que irá aumentar a quantidade de pontos gerados no processo anterior para representar melhor a área em questão. Logo após foi realizado o passo de construir um modelo que permite representar a superfície tridimensionalmente, permitindo entender visualmente como a área de comporta quanto ao relevo. Em adição, realizou a construção de textura para melhorar o aspecto visual do modelo tridimensional. Após esses passos foi possível gerar o MDE que traz as características de altimetria da superfície e a ortofoto que cria uma única imagem georreferenciada, esses dois produtos foram exportados em formato TIFF.

Após a obtenção dos produtos georreferenciados no *Agisoft Metashape* os mesmos foram importados para o QGIS para que fosse feita a vetorização das duas áreas de estudo com base nas marcas já existentes nos terrenos. Foram criados arquivos vetoriais correspondentes a cada área para que fosse delimitado onde iriam ser feitas as análises. Logo após, o arquivo TIFF foi recortado para que pudesse ser trabalhada apenas a área de estudo que se tem como objetivo da pesquisa, para tanto foi utilizado o comando recortar raster pela camada de máscara.

Sendo assim, foi possível analisar apenas a área do terreno em estudo, para isso foi utilizado um recurso do QGIS chamado reporta camada raster de valor único. Esse mecanismo gera uma tabela em Excel contendo uma coluna com a numeração, a área e a cota de cada pixel do MDE. Sendo o pixel o menor ponto onde o RPA fez uma leitura de altura, com base nos valores de altura desses pixels foram feitas as análises e comparações nesse trabalho.

Para os fins desse trabalho foram utilizados os valores de diferença de cota do terreno, ou seja, o menor valor de altimetria foi subtraído de cada pixel. Na planilha do Excel gerada pelo QGIS foi criada uma coluna que seguiu a equação abaixo para calcular a diferença de nível de cada ponto (ΔH). Esses foram os valores utilizados para as análises.

$$\Delta H = H_L - H_m$$

ΔH – Diferença de cota;

H_L – Valor de altimetria do pixel; e,

H_m – Menor valor de altimetria medido.

Sendo assim, para efeito de comparação dos resultados das diferentes alturas de voo foi feita uma análise estatística dos dados e uma comparação na quantidade de informação captada pelo RPA que foi visível a partir do número de pixels de cada área de estudo. Primeiramente, a análise consistiu em calcular parâmetros estatísticos como média, amplitude, valor mínimo e máximo, desvio padrão e variância. Nesse sentido, também foi calculado a quantidade de pixels que foi gerado em cada área dividindo-os por intervalo de cota, assim foi possível verificar o nível de detalhamento e confiabilidade de cada levantamento. Todos os cálculos foram feitos utilizando a planilha de Excel gerada pelo QGIS.

Para que também se mantenha o mesmo parâmetro e evite erros quanto a mudanças no sistema de referência de coordenadas, no referido trabalho foi utilizado o código EPSG 32724, o qual corresponde ao sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e DATUM WGS84, zona 24 sul, em todos os softwares citados e na confecção de todos os produtos cartográficos e fotogramétricos.

2.2. Resultados

2.2.1 Análise estatística prévia

Como foram realizados voos a 50, 75 e 100 m em duas áreas distintas, foi preciso encontrar meios de comparar os resultados obtidos. Para isso, calculou-se os parâmetros estatísticos que expressam o comportamento

das medições de cada levantamento em cada altura de voo (Quadro 1). Esses parâmetros trazem significativa relevância para o entendimento de como os conjuntos de pixels se comportam entre si, podendo assim ser feita a comparação entre as alturas de voo. Sendo assim, foi montado o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Parâmetros estatísticos para o número de pixels em função das alturas de voo na área 1 (Autoria própria)

Área 1			
Parâmetros estatísticos			
	50 m	75 m	100 m
Amplitude	2,272	2,991	2,425
Mínimo	0,000	0,000	0,000
Máximo	2,272	2,991	2,425
Média	0,887	1,351	1,087
Desvio padrão	0,524	0,735	0,610
Variância	0,275	0,540	0,372

Nesse contexto, a amplitude, o máximo e o mínimo é uma maneira de entender qual a diferença de altura do ponto mais alto para o ponto mais baixo na área 1. É perceptível que os resultados são consideravelmente diferentes para as três alturas de voo, tendo a altura de 75 m a maior discrepância entre esses valores possuindo amplitude de 2,991 m. Com isso, pode-se constatar que os valores de amplitude mudam bastante com a altura de voo, o que é esperado tendo em vista que em alturas maiores os detalhes são menos visíveis.

Igualmente, sendo a média um indicador que mostra o centro dos valores da amostra, pelo Quadro 1, pode-se entender como os pixels se comportam em cada altura de voo. Nesse sentido, considerando-se que a média é influenciada por valores extremos é notório que o levantamento realizado a 75 m, por serem medidos valores de altimetria mais altos, é apresentado uma média maior. Por outro lado, os voos a 50 e 100 m demonstram que os valores estão bem distribuídos principalmente com valores mais baixos. Dessa maneira, conclui-se que a medição das cotas se mostram melhor distribuídas a 50 e 100 m do que a 75 m.

Por conseguinte, analisando os dados obtidos a partir do desvio padrão e da variância, medidas que expressam o grau de dispersão de um conjunto de informações compreende-se, diante do exposto na Quadro 1, sobre a dimensão da uniformidade do terreno em estudo. Desse modo, de acordo com a análise desses parâmetros, percebe-se que os valores com maior disparidade dos demais (0,735; 0,540) se referem aos apresentados, para ambas as medidas de dispersão, à 75 m de altura. Todavia, a mesma análise pode ser conferida às demais alturas que apresentam valores de desvio padrão e variância mais baixos e, conseqüentemente, mais homogêneos, tendo o estudo à 50 m como possuidor dos menores parâmetros (0,524; 0,275). Portanto, infere-se que por intermédio das leituras do RPA voando à altura de 75 m, se constrói um MDE com menos uniformidade, bem como que tende a condizer de maneira negativa com a realidade do terreno estudado.

Da mesma maneira, foram analisados os parâmetros estatísticos da segunda área de estudo, que apesar de se encontrar no mesmo condomínio, possui diferenças em seu tamanho e relevo. Tal área é 27,77% menor, além de ser menos uniforme. Dessa maneira, pode-se analisar como as medidas se mostram na área 2, segundo a Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros estatísticos para o número de pixels em função das alturas de voo na área 2 (Autoria própria).

Área 2			
Parâmetros estatísticos			
	50 m	75 m	100 m
Amplitude	4,294	5,041	4,743
Mínimo	0,000	0,000	0,000
Máximo	4,294	5,041	4,743
Média	2,154	2,590	2,419
Desvio padrão	1,054	1,273	1,175
Variância	1,111	1,620	1,380

De acordo com o quadro acima, percebe-se que a amplitude da área 2 é maior que da área 1, trazendo assim um outro contexto para o teste da eficiência do RPA em diferentes alturas de voo, se mostrando um ótimo comparativo para verificação da repetição dos resultados. Nesse viés, é possível perceber que a altura de 75 m possui amplitude de 5,041 m que é o maior valor, repetindo o resultado da área 1. Igualmente, a altura de 50 m

possui amplitude de 4,294 m sendo a menor amplitude. Por fim, o resultado da área 1 se repete para a área 2 ratificando o que foi medido a priori.

Analogamente, assim como na área 1, a média também pode ser analisada tendo em vista que expressa o ponto central das medições. Assim como na primeira análise as médias das alturas de 75 e 100 m estão notadamente mais altas que a 50 m, ou seja, essas duas alturas geram medidas maiores corroborando com o entendimento gerado pela amplitude. Logo, é notório que os resultados de média encontrados na área 1 se comportam de maneira igual na área 2.

Nesse sentido, pode ser analisado o desvio padrão e a variância para verificar a homogeneidade dos conjuntos para a área 2. Dessa maneira, é possível compreender que o desvio padrão se comporta diferente para as alturas, sendo os dados a 75 m o mais heterogêneo e a 50 m o mais homogêneo. Portanto, conclui-se que em termos de homogeneidade os resultados são repetidos na área 2, incluindo a expressividade da altura de 50 m.

Em resumo, nota-se uma concordância no comportamento dos valores medidos na área 1 e na área 2 apesar das diferenças nas características do terreno. Vale ressaltar, que os valores de desvio padrão e variância foram mais altos na área 2, o que era esperado devido o segundo terreno possuir uma maior amplitude e menor área, ou seja, possuindo menos pixels, sendo eles com valores de cota discrepantes entre si.

No que se trata dos demais parâmetros, percebe-se uma diferença considerável em 75 m, se tornando a altura que apresentou maior distorção em todos os critérios nas duas áreas. Por conseguinte, devido a consonância existente nos valores calculados em cada área, conclui-se que estatisticamente o estudo é confiável já que os resultados foram constantes em terrenos diferentes.

Nessa linha, Lugo et.al (2019) [4] realizou uma pesquisa comparando levantamentos planialtimétricos realizados a 75, 90 e 100 m. Realizando uma análise a partir de pontos criados no próprio QGIS e comparados seus valores de altimetria em cada voo. A partir disso, os referidos autores chegaram à conclusão que a altura menos indicada foi a de 90 m, isso se deve ao fato de que o voo executado nessa altura não continuou com a proporcionalidade direta entre a altura de voo e as diferenças de elevação. Devido os resultados obtidos, foi recomendado pelos respectivos autores que em uma futura linha de pesquisa realizar alturas de voo com diferenças não inferiores a 25 m. Essa recomendação foi seguida neste trabalho, fazendo o levantamento nas alturas de 50, 75 e 100 m obtendo, estatisticamente, um pior resultado para o levantamento realizado a 75 m.

2.2.1 Análise do processamento

As Figuras 2 e 3 mostram o resultado do MDE para as alturas de voo em cada área analisada no presente estudo.

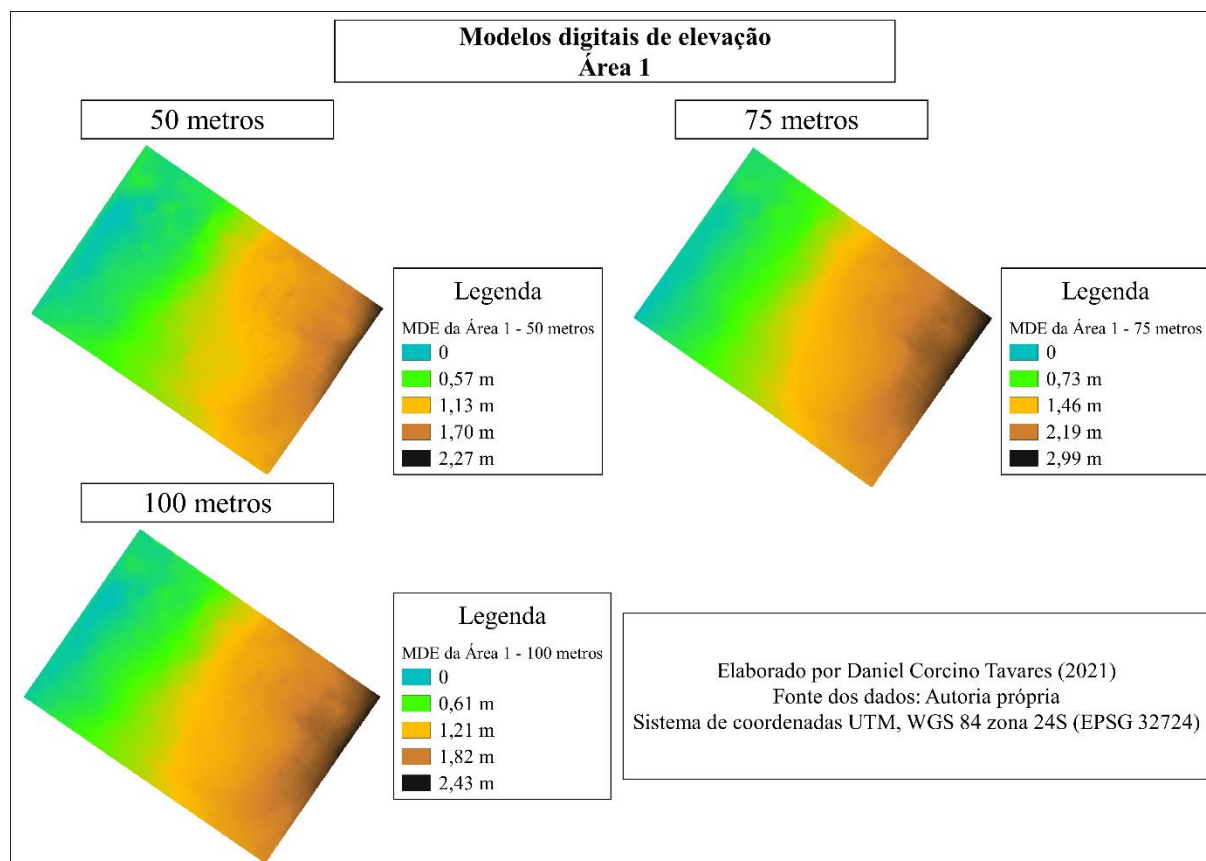


Figura 2. Modelos Digitais de Elevação por altura de voo da Área 1 (Autoria própria)

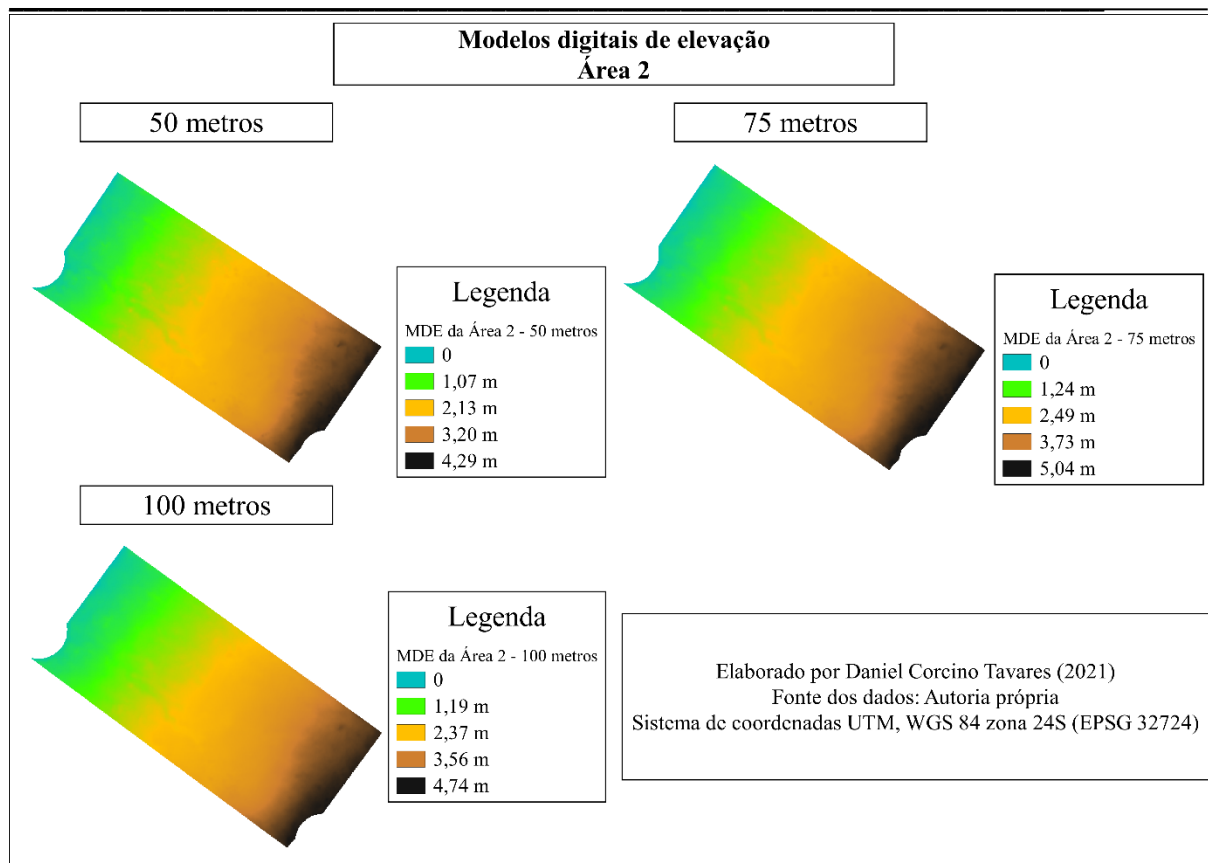


Figura 3. Modelos Digitais de Elevação por altura de voo da Área 2 (Autoria própria)

De igual modo, é possível observar o detalhamento dos terrenos estudados por meio das ortofotos geradas abaixo.

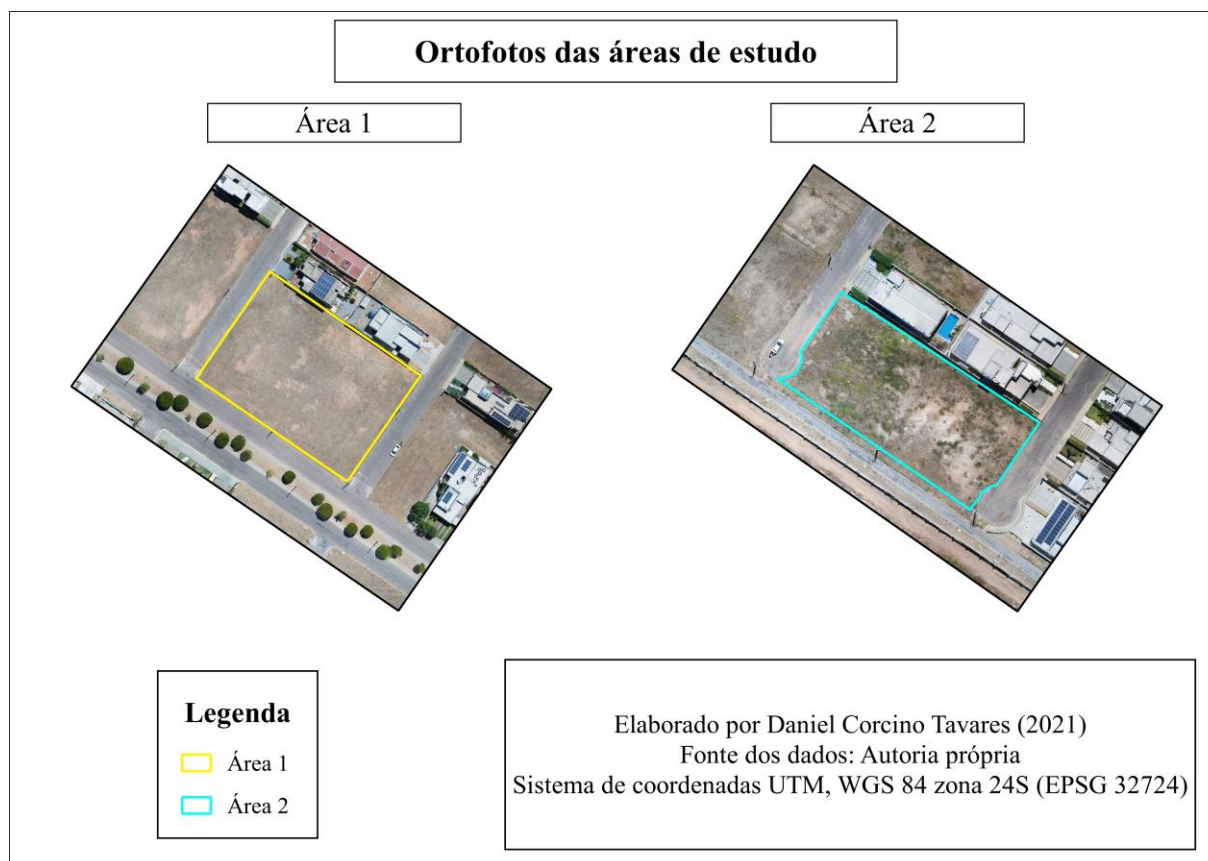


Figura 4. Ortofotos das áreas de estudo (Autoria própria)

Com o intuito de analisar o desempenho do uso do RPA nos levantamentos, no que tange ao voo realizado, é preciso comparar os parâmetros de voos que foram obtidos nas duas áreas. Já se sabe que quando se aumenta a altitude de voo o tempo de atividade diminui, assim como a quantidade de imagens, porém é preciso entender se essa mudança é significativa no trabalho em campo e se, comparada com a qualidade dos levantamentos, se torna significativa a ponto de justificar tal mudança.

Dessa forma, compreende-se que o tempo de voo influencia diretamente no tempo de trabalho em campo e na quantidade de bateria utilizada, o número de imagens influi na quantidade de armazenamento utilizado e no tempo de processamento das imagens no Agisoft Metashape, além do caminho percorrido que tem ligação como tempo de voo e com a quantidade de imagens coletadas. Esses parâmetros podem ser vistos nos Quadros 3 e 4 a seguir, que expressam como o RPA se comportou no levantamento de cada área nas diferentes alturas de voo.

Quadro 3: Parâmetros de plano de voo para as alturas de voo da área 1 (Autoria própria)

Área 1			
Parâmetros dos planos de voo			
	50 m	75 m	100 m
Tempo de voo	9min16s	4min7s	3min19s
Número de imagens	56	30	20
Caminho percorrido	552m	442m	382m

De acordo com o exposto na Quadro 3 acima, deve-se observar como o RPA se comportou quanto aos planos de voo para cada altura. Como o esperado, em 50 m houve o maior tempo de voo, o maior número de imagens capturadas e o maior caminho percorrido, isso significa que houve um maior tempo de processamento das imagens nesse caso. Paralelamente, as alturas de 75 e 100 m também atingiram o resultado esperado trazendo, à medida que a altura aumenta, menor tempo de voo, menor caminho percorrido e menor número de imagens obtidas. Logo, na área 1, o levantamento feito a 50 m se mostrou com um número notoriamente maior de imagens que, captando mais informação, pode se reverter em maior detalhamento de produtos planialtimétricos.

De maneira análoga, a mesma análise pode ser feita para a área 2 (Quadro 4), verificando-se se os dados se comportam da mesma maneira.

Quadro 4: Parâmetros de plano de voo para as alturas de voo da área 2 (autoria própria)

Área 2			
Parâmetros dos planos de voo			
	50 m	75 m	100 m
Tempo de voo	3min19s	3min34s	2min55s
Número de fotos	36	20	16
Caminho percorrido	328m	284m	239m

Sendo assim, para a área 2, devido tamanho reduzido do terreno, a diferença nos parâmetros não foi significativa quanto ao tempo de voo. Todavia, isso não significa que os levantamentos são equivalentes, tendo em vista que a 50 m o RPA percorreu uma rota mais extensa e, conseqüentemente, fotografou mais imagens. Ou seja, apesar da aparente equivalência em campo, houve um ganho no número de imagens, que podem se converter em um MDE mais detalhado.

Ainda para efeito de comparação entre os levantamentos planialtimétricos feitos pelo RPA em diferentes alturas de voo, o equipamento faz a leitura de pixels que são georreferenciados e tem sua cota determinada. Dessa maneira, entende-se que quanto mais pixels forem captados mais informações se tem do terreno, ou seja, mais detalhados são os resultados, já que o MDE do terreno, que traz as informações altimétricas, é baseado nesses pixels.

Por essa razão, achou-se necessário contar o número de pixels por altura de voo para cada área, comparando o nível de detalhamento de cada levantamento. Esse estudo foi expresso no Quadro 5 para a área 1, onde é possível visualizar como os pixels são distribuídos em cada intervalo de cota, além do número total desse menor ponto de medida captado.

Quadro 5: Número de pixels por intervalo de cota para as alturas de voo da área 1 (Autoria própria)

Área 1			
Número de pixels por intervalo de cota			
	50 m	75 m	100 m
0 - 0,5m	276.808	65.176	52.883
0,5 - 1,0m	175.355	66.011	34.562
1,0 - 1,5m	283.792	59.003	53.623
1,5 - 2,0m	114.629	89.026	55.430
2,0 - 2,5m	4.645	70.981	8.398
2,5 - 3,0m	0	12.736	0
TOTAL	855.229	362.933	204.896

Nesse viés, analisando o Quadro 5, estuda-se a maneira como o RPA se comporta perante as diferentes alturas de voo no que se refere ao número de pixels e, conseqüentemente, no detalhamento das imagens. Para isso, analisando primeiramente o voo a 50 metros de altura, é evidente que esse possui o maior número de pixels, e conseqüentemente o maior número de informações para gerar os modelos estudados. Ademais, os valores se encontram bem distribuídos entre as faixas de cota, porém fica claro que o maior número de pixels está presente na faixa intermediária (1,0 – 1,5m). Contudo, diferente das demais alturas, possui um número de pixels expressivo na menor faixa (0 – 0,5m).

Paralelamente, os dados coletados pelo RPA a 75 m trazem uma leitura clara de como varia o comportamento dessa leitura. Primeiramente, é evidente como a quantidade de pixels diminuiu se comparado com o primeiro voo, tendo uma perda de 57,56%, levando a crer que os resultados são menos fidedignos. Por outro lado, os pixels estão bem distribuídos nas faixas medidas sendo que o maior número deles se encontra de 1,5 para 2,0 m de cota. Portanto, o voo realizado a 75 m gera resultados altimétricos consideravelmente diferentes que na altura mais baixa, possuindo inclusive 12.736 pixels em uma faixa não encontrada antes.

Da mesma forma, o levantamento feito a 100 m apresenta informações que são capazes de mostrar o nível de detalhamento possível nessa altura. Para isso, ao analisar a quantidade de pixels por intervalo de cota, eles se apresentam bem distribuídos não tendo nenhum valor expressivo que se destaque dos demais. Dessa maneira, o número de pixels nesse critério é ainda menor que nos dois primeiros voos, demonstrando que tem menor capacidade de apresentar os detalhes desse terreno.

Em resumo, constata-se que, quando se varia a altura de voo, existe uma diferença notória na quantidade de pixels e conseqüentemente no nível de detalhamento dos levantamentos. Visto que, o levantamento feito a 50 metros se apresentou com um nível de detalhamento maior pois possui mais pixels, ou seja, mais informações para gerar o MDE e a ortofoto. Para as outras alturas, o detalhamento diminui drasticamente, o que pode ser um indício de que os seus produtos gerados não são fiéis a realidade. De modo que, conclui-se que na área 1 o levantamento que mostrou maior detalhamento foi o realizado a 50 m de altura.

Porém, não necessariamente esse resultado se repetiria para uma outra área que possui características diferentes e podem influenciar na medição, como tamanho menor e diferença de nível maior. Por essa razão, foi feito o mesmo estudo para os levantamentos na área 2, com o objetivo de entender como se comporta os conjuntos de valores nessa condição. As informações se encontram a seguir no Quadro 6.

Quadro 6: Número de pixels por intervalo de cota para as alturas de voo da área 2 (Autoria própria)

Área 2			
Número de pixels por intervalo de cota			
	50 m	75 m	100 m
0 - 0,5m	47.888	16.331	8.812
0,5 - 1,0m	72.570	27.068	15.742
1,0 - 1,5m	68.071	21.571	13.517
1,5 - 2,0m	87.398	27.146	16.643
2,0 - 2,5m	139.526	33.238	21.636
2,5 - 3,0m	106.119	46.594	27.635
3,0 - 3,5m	60.771	40.965	19.824
3,5 - 4,0m	57.796	25.738	13.032
4,0 - 4,5m	26.247	22.072	12.118
4,5 - 5,0m	0	22.150	4.690
5,0 - 5,5m	0	209	0
TOTAL	666.386	283.082	153.649

Tomando como base o exposto anteriormente no Quadro 6, é possível entender o comportamento do número de pixels para a segunda área. Para 50 m, o número total de pixels chegou a 666.386 sendo o que mais colheu informações e apresentou nível de detalhamento maior. Já em relação aos valores por faixa de cota, apresentou valores mais concentrados de 1,5 até 3,0 m, o que é evidente no MDE gerado. Então, por meio de uma leitura geral, é visível que em 50 m mais dados são colhidos acentuando certas faixas de cota.

Fazendo a mesma análise para as alturas de voo de 75 e 100 m, entende-se a relação e compatibilidade que existe com o Quadro 5, da área 1. O número de valores medidos é menor, chegando a ser 57,52% menor em 75 m e 76,94% em 100 m. Além de que, as medições feitas se concentram nas cotas intermediárias, e a 75 m, assim como no Quadro 5, possui uma faixa de cota maior que as demais. Por essa razão, corrobora-se o que foi analisado na primeira tabela onde a altura de 50 m teve o maior nível de detalhamento.

Sendo assim, é possível concluir que a quantidade de pixels se comporta de igual modo para as duas áreas estudadas. Nos dois terrenos, a altura que apresentou melhor detalhamento nas imagens foi a de 50 m, tendo consideravelmente mais pixels. Portanto, levando-se em consideração o número de pixels por altura do levantamento, as medições feitas a 75 e 100 m são evidentemente menos detalhadas podendo gerar erros na elaboração dos produtos planialtimétricos como o MDE.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto, foi possível determinar qual altura de voo proporcionou melhor levantamento realizado em menor escala utilizando apenas o RPA em campo. Com base nos dados estatísticos e com a análise feita a partir do número de pixels, tendo em vista o nível de detalhamento e coerência dos dados, o levantamento realizado a 50 m foi o que mostrou melhor resultado. Sendo este o mais indicado para os casos em que se possui suficiente condição de tempo e de processamento.

Se a disposição de tempo e capacidade de máquina para processamento das imagens for limitada, deve-se fazer o estudo em 100 m. Isso se dá pelo fato dessa altura apresentar dados estatísticos melhores, além de possuir menor número de imagens, o que facilita em uma situação onde o operador tem tempo limitado em campo e capacidade de processamento reduzida.

Não é indicado realizar o levantamento planialtimétrico nesses terrenos a 75 m, pois apesar de apresentar maior número de pixels que a 100 m, os seus dados estatísticos não são satisfatórios, ou seja, se torna a pior opção por apresentar uma menor qualidade que 50 m e necessitar de maior capacidade de processamento que 100 m.

Recomenda-se que em futuras pesquisas sejam comparadas as alturas de voo mudando alguns parâmetros, buscando entender o comportamento dos dados. Uma das possibilidades é realizar o levantamento em outras escalas de terreno para verificar se os dados se portam da mesma maneira.

Vale também estudar como os MDE são afetados se os levantamentos forem executados com outro modelo de RPA que possua uma câmera e sensores diferentes, tendo em vista que esse trabalho foi realizado com um Phantom 4 Advanced que é um modelo mais comum e relativamente antigo, porém largamente utilizado em mapeamentos como esse.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. Del Río-Santana; T. Espinoza-Fraire; A. Sáenz-Esqueda. et al., Levantamientos Topográficos con Drones. In: Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo. 2019.
- [2] FERREIRA, A.M. Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos. 2014. 93p. Dissertação (Pós-graduação em Geociências aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.
- [3] FORTUNATO, J.C. Comparação entre topografia com Drones x topografia tradicional, Mundogeo, 26/08/2018. Disponível em: < <https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/> >. Acesso em 20 outubro 2021.
- [4] Lugo, V.S; Rodriguez, F.R; Banchero G.A. Comparación de resultados topográficos altimétricos en el relevamiento de una cantera, utilizando drone fotogramétrico, drone rtk/ppk y estación escâner. 2019. Monografia (Engenharia de Agrimensura) - Universidad de la República Uruguay, Uruguai.
- [5] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em 25 outubro 2021.
- [6] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010 Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em 25 outubro 2021.
- [7] Agisoft Metashape. Disponível em: <<https://www.agisoft.com/>>. Acesso em 31 outubro 2021.
- [8] QGIS. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em 31 outubro 2021.
- [9] PIX4D Capture. Disponível em: <<https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>>. Acesso em 31 outubro 2021.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezoito dias, do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e um, às nove horas, por meio de reunião remota, utilizando a ferramenta *Google Meet* ([link: meet.google.com/ymm-jknz-kte](https://meet.google.com/ymm-jknz-kte)), conforme estabelecido no art. 1º da Resolução CONSEPE/UFERSA nº 003/2020, de 25 de setembro de 2020, reuniu-se a banca examinadora da defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LEVANTAMENTOS PLANIALTIMÉTRICOS FEITOS COM RPA EM DIFERENTES ALTURAS DE VOO**, de autoria do discente **DANIEL CORCINO TAVARES**, para a sessão de defesa pública do citado trabalho, requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia. A Banca Examinadora ficou assim constituída: presidente da banca e orientador do trabalho Doutor PAULO CESAR MOURA DA SILVA, 1º examinadora Doutora DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, 2º examinador Especialista CAMILA GABRIELLE DE ARAÚJO SANTOS. Abrindo a sessão o Orientador e Presidente da banca, Prof. PAULO CESAR MOURA DA SILVA, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho de Conclusão de Curso, passou a palavra ao formando para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos membros da banca examinadora e respectiva defesa do formando. Sendo estabelecido que o discente deva realizar os ajustes, retificações e complementações, proposto pelos membros da banca examinadora. Concluídos os trabalhos, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, o aluno foi considerado **APROVADO**, por unanimidade. O resultado foi então comunicado publicamente ao aluno pelo Presidente da Banca. Nada mais havendo a tratar, o Presidente da banca examinadora deu por encerrado o julgamento que tem por conteúdo o teor desta Ata que, após lida e aprovada, segue assinada por todos os membros da Banca para fins de produção de seus efeitos legais.

Mossoró, 18 de novembro de 2021.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

PAULO CESAR MOURA
DA SILVA:91358540497

Assinado digitalmente por PAULO CESAR MOURA DA SILVA:
91358540497
DN: CN=PAULO CESAR MOURA DA SILVA:91358540497, OU=UFERSA
- Universidade Federal Rural do Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2021.11.18 14:34:15-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.0.0

Prof. Dr. PAULO CESAR MOURA DA SILVA – UFERSA
Presidente e orientador

DANIELA DA COSTA LEITE
COELHO:07383794419

Assinado de forma digital por DANIELA
DA COSTA LEITE COELHO:07383794419
Dados: 2021.11.18 13:54:54 -03'00'

Profa. Dr(a). DANIELA DA COSTA LEITE COELHO – UFERSA
Primeiro Membro

CAMILA GABRIELLE DE ARAUJO
SANTOS:10718503422

Assinado de forma digital por CAMILA
GABRIELLE DE ARAUJO SANTOS:10718503422
Dados: 2021.11.18 14:48:43 -03'00'

Profa. Esp. CAMILA GABRIELLE DE ARAÚJO SANTOS - UFERSA
Segundo Membro