

## ANÁLISE DOS LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS 3D REALIZADOS POR LASER SCANNER E POR RPA PARA PROJETOS GEOMÉTRICOS DE ESTRADAS

### ANALYSIS OF THE 3D TOPOGRAPHIC SURVEYS BY LASER SCANNER AND RPA FOR GEOMETRIC ROAD DESIGNS

Jardel Silva Ferreira <jardel.silvaferreira@yahoo.com.br>  
Carlos Pedro Silva Santos <carlospedroprojetos@gmail.com>  
Robson Gregori Gomes <robsongregori@yahoo.com.br>  
Fernando César Zanette <fernando.zanette@feamig.br>  
Evandro De Castro Gomide <evandro.gomide@feamig.br>

### RESUMO

A topografia é imprescindível nos projetos de engenharia, pois é a base para a elaboração e execução de projetos. Sem o levantamento topográfico, seria inviável projetar casas, barragens, ferrovias e estradas. No caso da engenharia rodoviária, há de levar em conta que o Brasil possui uma das maiores matrizes rodoviárias do mundo. O objetivo deste estudo é analisar o nível de detalhamento e volume de movimentação de terra do levantamento Aerofotogramétrico feito por RPA, em relação ao levantamento topográfico feito por Laser Scanner Terrestre Estático, aplicado em um projeto geométrico de estradas. Para tanto, aplicou-se os métodos de pesquisa bibliográfica, análise documental e levantamento de campo. O resultado principal apontou que o Laser Scanner apresentou um nível de detalhamento maior do que o do RPA.

**Palavras-chave:** Levantamento topográfico. Estradas. RPA. Laser Scanner.

---

### ABSTRACT

Topography is a sort of an imperative issue when we address engineering projects specially due to the fact that it is the basis for project design and execution. Out of a proper research of such thing, it would be unachievable designing houses, dams, railways and roads. It is a matter of fact that when we speak about road engineering, it must be kept in mind that Brazil is a country which has got one of the largest road arrays worldwide. The aim of this study is to estimate in terms of detailed level and volume the RPA Aero-photogrammetric ground movement survey, regarding the topographic survey conducted by Static Terrestrial Laser Scanner, applied in a geometric road design. Therefore, we applied the methods of bibliographic research, document analysis and field survey. The main result pointed out that the Laser Scanner presented a higher detailed level than the RPA.

**Keywords:** Aero-photogrammetric ground movement survey; Roads; RPA; Laser Scanner.

#### Correspondência/Contato

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837

CEP 30510-120

Fone (31) 3372-3703

parametrica@feamig.br

<http://www.feamig.br/revista>

#### Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa

[wilsoncosta@feamig.br](mailto:wilsoncosta@feamig.br)

Raquel Ferreira de Souza

[raquel.ferreira@feamig.br](mailto:raquel.ferreira@feamig.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A topografia é a ciência que estuda as dimensões e o contorno da terra, através de medições de ângulos e distâncias. Nela também são executados cálculos de coordenadas, áreas e volumes. A topografia também inclui em seus procedimentos a locação de pontos que é de suma importância para os projetos de estradas, ferrovias, linhas de transmissões, saneamento, terraplanagem e outras estruturas. Na elaboração e execução das obras correlatadas, a movimentação de terras é uma das etapas de custo mais elevado. Quanto mais detalhado for o levantamento topográfico, maior será a precisão do cálculo de corte e aterro.

O surgimento de novas tecnologias tem contribuído para que os levantamentos topográficos sejam cada vez mais detalhados, aproximando-se de forma fiel à superfície do relevo, o que, dentre outras coisas, reduz consideravelmente o tempo de elaboração e execução dos projetos. Dentre estas tecnologias, abordar-se-á, neste trabalho, o levantamento aerofotogramétrico com RPA (Aeronave Remotamente Pilotada) e o levantamento topográfico com laser scanner terrestre estático. No levantamento topográfico com Laser Scanner, os dados são obtidos através de um sensor ativo, emissor de feixe de laser, que fica acoplado ao equipamento que, ao atingir uma superfície, retorna ao scanner. Com isso, é possível determinar a posição do objeto escaneado, mediante o processamento em computador dos dados coletados, gerando um modelo topográfico 3D.

No levantamento Aerofotogramétrico, uma aeronave equipada com câmera fotográfica, sobrevoa toda a área de interesse, fotografando-a. Com os dados obtidos, após processamento no computador são gerados a ortofoto e o modelo topográfico 3D. Tanto o levantamento com o RPA quanto o com Laser Scanner proporcionam um modelo digital 3D com altíssimo nível de detalhe, sendo bem aproveitado no projeto de estradas, pois favorecem uma melhor caracterização do terreno e maior exatidão nos cálculos de movimentação de terras.

Os usos de RPA's e Laser Scanner são extremamente benéficos para engenharia de Agrimensura, no projeto geométrico de estradas, já que tornam o processo de levantamento mais rápido e possibilitam um modelo digital mais próximo da realidade do terreno.

Assim, o objetivo desta pesquisa é analisar o nível de detalhamento e o volume de movimentação de terras através dos modelos digitais de terreno obtidos pelo levantamento

aerofotogramétrico feito por RPA e pelo levantamento topográfico feito por laser scanner terrestre estático, tendo em vista a aplicação desses modelos em um projeto geométrico de estradas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo McCormac (2007, p.01), a topografia é “a ciência que trata da determinação das dimensões e contornos da superfície física da Terra, através da medição de distâncias, direções e altitudes.” McCormac (2007) e Tuler e Saraiva (2014) afirmam que a topografia é uma ciência tão antiga quanto à civilização humana, sendo utilizada para demarcar terras, orientar-se sobre a localização de água e campos de caça e criar mapas políticos. Para McCormac (2007), a topografia foi utilizada no Egito para a demarcação de terras, implantação de marcos e para a construção da grande pirâmide do Egito. Acredita-se que, após a cheia do Nilo, os topógrafos locavam os marcos arrancados pelo arraste das águas. Além disso, os Egípcios usavam fio de prumo para nivelar a base de suas construções e cordas para medir distâncias.

Nos últimos séculos, segundo McCormac (2007), **houve grandes saltos tecnológicos**, como o teodolito, nível eletrônico, estação total, aerofotogrametria, receptores GNSS e Laser Scanner. Conforme Tuler e Saraiva (2014), a Topografia pode se dividir em topometria e topologia.

A topometria trata de métodos e instrumentos que visam coletar grandezas para se definir pontos topográficos tridimensionais. A topometria ainda se divide em planimetria, altimetria e planialtimetria.

- A planimetria visa a coleta de ângulos e distâncias, para que se possa localizar um objeto num plano bidimensional.
- A altimetria visa a coleta de diferenças de nível, para que se possa fazer a representação do relevo.
- A planialtimetria agrega as duas metodologias citadas, no intuito de se obter uma representação fiel do terreno em três dimensões.

A topologia é o estudo da representação e a interpretação das plantas topográficas. Permite a análise de declividade, escolha mais adequada de locais por onde transpor montanhas e vales, projetos de pontes, travessias de cursos d'água e obstáculos diversos, tornando o procedimento do projeto de estradas tecnicamente mais consistente, quando no seu desenvolvimento. McCormac (2007) e Pimenta e Oliveira (2016) destacam que, como o

terreno natural não é adequado para o tráfego, dependendo da situação do terreno, é necessário realizar uma grande movimentação de terra para a construção das estradas. Quando se realiza o cálculo de volume, é necessário ter um bom detalhamento do terreno, para que se possa chegar o mais próximo possível do real.

A terraplenagem é a etapa onde há o maior desperdício de recurso no projeto rodoviário que inclui em seu processo a escavação, transporte e compactação. Quando se refere à movimentação de terra, é comum o emprego dos termos corte e aterro, onde corte é a escavação do terreno e aterro é o depósito de terra. É importante também para esta pesquisa a compreensão do termo seção transversal, que é um corte realizado no perfil da estrada que visa detalhar a sua plataforma. Essas seções são realizadas em todo o trecho da estrada.

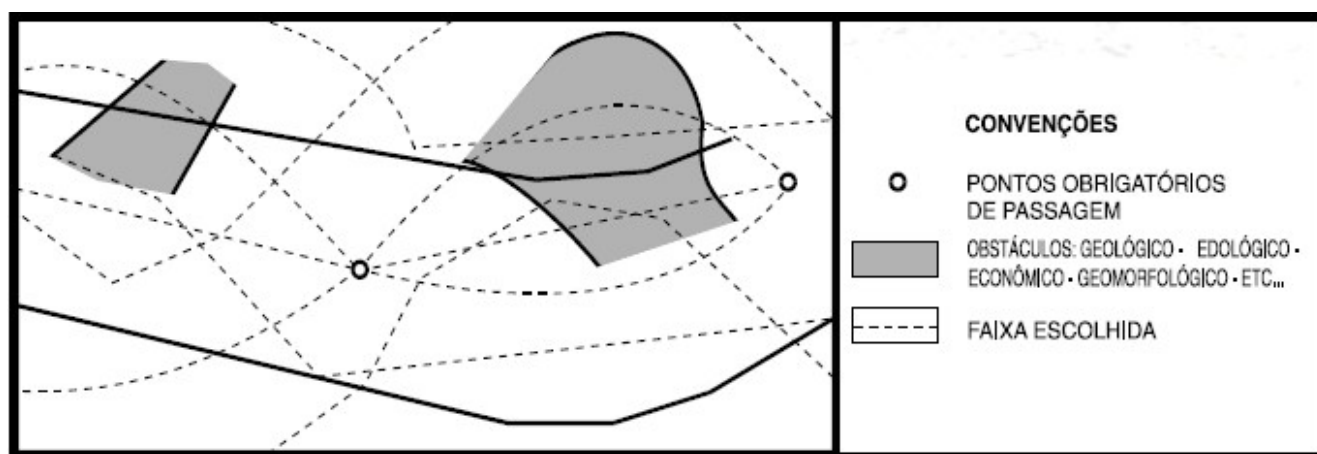
Para que se possa realizar o cálculo de volumes, é necessário que se faça o cálculo das áreas das seções transversais. As distâncias entre as seções transversais são constantes e costumam variar de 15 a 30 metros para o traçado de uma estrada. Para calcular o volume, calcula-se a área média das extremidades de uma seção e o valor obtido é multiplicado pela distância entre as seções. Nos softwares topográficos, o cálculo de volume também pode ser feito, a partir das nuvens de pontos e curvas de nível do levantamento e, com isso, é realizado internamente no programa a triangulação e interpolação dos pontos, gerando um modelo digital 3D e a partir deste, calcula-se o volume.

Segundo Pimenta e Oliveira (2016), existe uma variedade de fatores a serem analisados, antes de se construir uma estrada, tais como:

- ✓ Topografia – A topografia é o principal fator na escolha da localização da estrada, pois influencia na movimentação de terra, em que geralmente representa significativamente grande parte do custo total de construção da estrada. Os projetistas classificaram a topografia em três grandes grupos.
- ✓ Terreno plano – Quando a topografia no local é suave, permitindo a elaboração de projeto que culmine em boas condições de visibilidade, pequenos movimentos de terra e sem necessidade de obras vultosas.
- ✓ Terreno ondulado – O terreno natural possui inclinações intermediárias não muito fortes, o que resulta em movimento médio de terra.
- ✓ Terreno montanhoso – No terreno existe uma topografia que apresenta uma mudança bem significativa nas elevações do terreno, sendo necessário grandes movimentos de terra. Para reduzir os custos de implantação, são feitas propostas de traçados mais sinuosos.

É importante investigar, de forma tecnicamente consistente, as condições geológicas e geotécnicas dos solos por onde passarão as estradas, pois a dureza do material a ser escavado poderá exigir técnica especial para escavação, causando o aumento nos custos da construção da estrada e interferências no ecossistema. Tão importantes e igualmente onerosas são as situações que exigem a implantação de pontes ou galerias, em razão da hidrologia local, como também nas desapropriações nos locais onde optou-se pela passagem da estrada.

Pimenta e Oliveira (2016) justificam que, às vezes, um traçado alternativo, não representa a melhor solução técnica para o projeto, mas que beneficia toda a região dando uma nova opção que atenda aos interesses locais. A figura 1 representa diferentes formas de traçado de uma estrada.



**Figura 1: Área pesquisada / Alternativas**  
Fonte: DNIT (2010, p.118).

Através do levantamento topográfico realizado em campo é possível mediante análise dos dados coletados do terreno, escolher o melhor traçado possível para o projeto, visando atender os pontos obrigatórios de passagem e desviando dos obstáculos existentes. E diante desses obstáculos, o sensoriamento remoto ganha relevância. Jensen (2011) concordando com Cowell (1983), afirma que sensoriamento remoto é a medição de um objeto ou área geográfica sem haver a necessidade de ter contato físico direto com eles, para aquisição das informações, ou seja, de forma remota. Os dados das medições são captados através de dispositivos de registro denominados sensores.

Para Florenzano (2011), define-se por sensoriamento remoto a tecnologia que, através do uso de sensores, faz-se a captação e registro da energia refletida ou emitida da superfície. Essa energia pode ser de fonte natural proveniente do sol e da emissão de calor expelido pela superfície da Terra, ou pode ser obtida através de fonte artificial que, por

exemplo, pode-se encontrar no flash de uma máquina fotográfica e também no sinal emitido por um radar. Florenzano (2011) concordando com Jensen (2010) afirma que o sensoriamento remoto é uma tecnologia e que também se integram a ele o processamento, a interpretação e a análise dos dados. Ainda segundo os autores, os sensores de obtenção de dados podem estar acoplados em diversos tipos de plataformas, sendo elas: plataforma terrestre (situado próximo superfície), plataformas aéreas (a bordo de aeronaves e balões) e plataformas orbitais (nos satélites artificiais). Na vertente da fotogrametria Jensen (2011, p.151) define fotogrametria como a “arte e ciência de realizar medições precisas por meio de fotografia aérea”. Já Matos (2001) apresenta outra definição que diz “a fotogrametria é a técnica pela qual é atualmente produzida a generalidade da informação cartográfica.” (MATOS, 2001, p.188).

Segundo Costa, Campos, Brasileiro, Neto (2018, p.39),

conforme a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2017), aeromodelos são aeronaves não tripuladas, utilizadas para fins de lazer. Enquanto, aeronave remotamente pilotada (RPA) “É uma aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota que tenha qualquer outra finalidade que não seja recreativa, tais como comercial, corporativa e experimental”. (ANAC, 2017, p.2). (COSTA, CAMPOS, BRASILEIRO, NETO, 2018, p.39).

Sobre o Laser Scanner, Costa, Campos, Brasileiro, Neto (2018), Gonçalves (2007) e Tommaselli (2004) definem como um aperfeiçoamento da estação total robotizada, sendo mais veloz. Este equipamento pode ser classificado quanto a sua precisão, alcance e taxa de coleta de dados.

De acordo com Ferraz, Reis, Souza (2016), Dalmolin (2003) e Tommaselli (2004), o Laser Scanner emite um pulso de laser que é refletido pela superfície do objeto e é captado por uma ou mais câmeras digitais, que fazem o registro do sinal. Os ângulos de varredura dos pulsos são registrados no sistema. Além disso o Laser Scanner contém um relógio que, mede o tempo que o pulso demorou para sair do receptor ser refletido pelo objeto e voltar para o receptor ótico, calculando a distância. Com estas informações, que são coordenadas polares em relação ao centro de fase do aparelho, é possível calcular coordenadas tridimensionais dos pontos da superfície do objeto, gerando um modelo digital. A precisão do modelo digital pode-se alcançar a precisão de micrômetros.

Conforme Costa, Campos, Brasileiro, Neto (2018) e Tommaselli (2004), após o levantamento e o processamento dos dados é gerado uma nuvem de pontos, que possui dados tridimensionais. A resolução da nuvem de pontos pode ser fixada antes do

levantamento, variando de acordo com o tamanho do menor objeto que deseja ser levantado.

### 3.METODOLOGIA

Este estudo busca trazer contribuições para a área da Engenharia de Agrimensura, tendo como métodos a pesquisa bibliográfica, a partir de literatura científica selecionada, como: Costa, Campos, Brasileiro, Neto (2018), Ferraz, Reis, Souza (2016), Tuler e Saraiva (2014), Florenzano (2011), Jensen (2011), McCormac, (2007), dentre outros; e análise documental, a partir da leitura de material disponibilizado pela ABNT NBR13133 (1194), ANAC (2017), DNIT (2010), e levantamento de campo, uma vez que a obtenção e disponibilização dos dados a serem trabalhados na pesquisa foi realizada pela empresa CPE Tecnologia, conforme autorização em anexo. A referida empresa é especializada em equipamentos e tecnologias no ramo da Engenharia de Agrimensura e possui sede na cidade de Belo Horizonte.

A classificação quanto aos fins desta pesquisa se enquadra em caráter descritivo, pois ela parte de dados medidos entre dois métodos distintos, cujo o objetivo foi a análise da eficácia de cada instrumento nesta medição. Os levantamentos foram realizados em uma estrada vicinal localizada em área rural no interior do estado de Minas Gerais, sendo que a mesma interliga dois municípios.

Na execução do levantamento, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção dos dados, por isso o levantamento foi realizado em condições climáticas que favoreciam a sua realização, a fim de não prejudicar o produto final gerado pelos equipamentos.

As condições que impedem sua execução na maioria dos casos são: ação dos ventos, períodos de chuvas, nuvens e neblina. Tais condições climáticas podem danificar os equipamentos. Devido à grande extensão do traçado da estrada vicinal, para trabalharmos a pesquisa foi definido apenas um trecho dela, com aproximadamente 4km de extensão. Os equipamentos e softwares utilizados para o desenvolvimento da pesquisa na etapa que envolve a realização do levantamento e processamentos dos dados, foram RPA da marca Smart Planes modelo Smartone, Laser Scanner da marca Riegl modelo VZ1000, Receptor GNSS da marca Javad modelo Triumph 1, Riscan Pro, Agisoft PhotoScan, Autocad 2014, Cloud Compare, Geoffice V2. Além de processamento dos dados coletados para o desenvolvimento da pesquisa.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Levantamento Aerofotogramétrico do trecho de 4km da estrada vicinal utilizando RPA

No levantamento Aerofotogramétrico com o RPA, foi gerada uma nuvem de pontos georreferenciada tridimensional, ou seja, com coordenadas X, Y e altitudes. O georreferenciamento da nuvem é obtido através do processamento dos pontos de controle coletados em campo com o receptor GNSS antes do voo. Percebe-se que há uma grande quantidade de informações mapeadas, além da região de interesse que é a plataforma da estrada.

Para calcular a área de cobertura da nuvem de pontos foi utilizado o software Auto Cad 2014 e para contabilizar os pontos o software Cloud Compare. O RPA gerou uma nuvem de 7.950.623 pontos, que cobre uma área de 2.104.838,022m<sup>2</sup>, conforme figura 2.



**Figura 2: Nuvem de pontos do RPA**  
Fonte: Autores (2019)

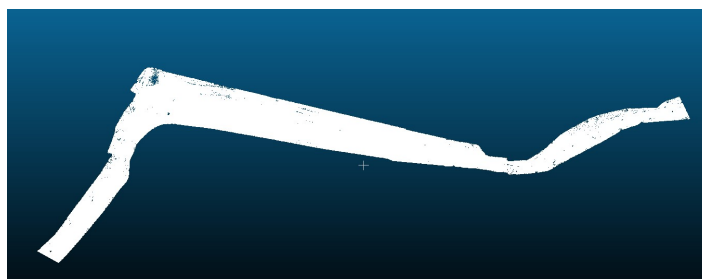
É importante ressaltar que a nuvem de pontos obtida é colorida nas bandas RGB, que, por sua vez, facilita a interpretação do terreno, pois são as cores vistas pelo olho humano. De posse da nuvem de pontos gerada pelo RPA, utilizou-se o software Cloud Compare para filtrar as árvores existentes, pois a vegetação interfere nos cálculos de volume e, por isso, é necessário fazer esse tratamento previamente, a fim de se obter uma melhor representação da superfície mapeada.

### 4.2 Levantamento Topográfico do trecho de 4km da estrada vicinal utilizando Laser Scanner

No levantamento topográfico com o Laser Scanner, assim como no levantamento aerofotogramétrico com o RPA foi gerada uma nuvem de pontos georreferenciada tridimensional e, percebe-se que, também há uma grande quantidade de informações mapeadas, além da região de interesse que é a plataforma da estrada. Para calcular a área de cobertura da nuvem de pontos foi utilizado o software Auto Cad 2014 e para contabilizar os pontos o software Cloud Compare.



O Laser Scanner gerou uma nuvem de 2.847.496 pontos, que cobre uma área de 597.490.960 m<sup>2</sup>. A figura 3 mostra a nuvem de pontos gerada pelo Laser Scanner resenhada na vista plana.

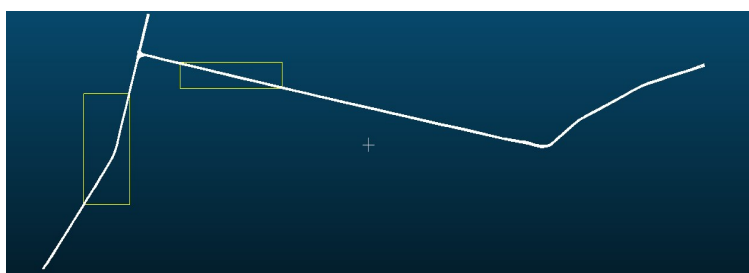


**Figura 3: Nuvem de pontos do Laser Scanner**  
Fonte: Autores (2019)

A nuvem de pontos do Laser Scanner apresentada na figura 3, ao contrário da obtida com o RPA, apresenta apenas uma cor, pois ele emite um laser que é refletido pela superfície do objeto mapeado. Com o tempo de resposta do laser calcula-se as coordenadas do ponto, através das medições de ângulo e distância, gerando um ponto virtual sem cor.

#### 4.3 Níveis de detalhamento obtidos por Laser Scanner e RPA

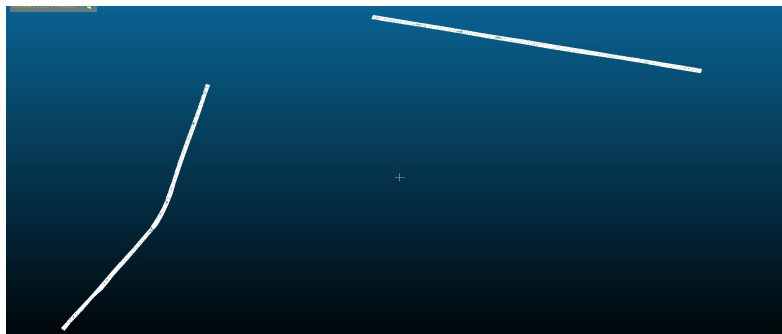
Para se calcular os níveis de detalhamento e o volume dos levantamentos feitos pelo Laser Scanner e pelo RPA, utilizou-se o software Cloud Compare para cortar e contabilizar as nuvens de pontos na plataforma da estrada existente. Para calcular a área de cobertura da nuvem de pontos foi utilizado o software Auto Cad 2014. A figura 4 mostra a forma que ficaram as nuvens de pontos após os cortes e também os locais escolhidos para os cortes de 500m de extensão.



**Figura 4: Cortes das nuvens de pontos na plataforma da estrada**  
Fonte: Autores (2019)

Com as novas nuvens de pontos cortadas nos limites da plataforma da estrada existente, cortou-se novamente as nuvens de pontos do Laser Scanner e do RPA em locais iguais, utilizando o software Cloud Compare, desta vez, separando-a em dois trechos de 500 metros de extensão em cada nuvem. Os dois trechos foram definidos em locais

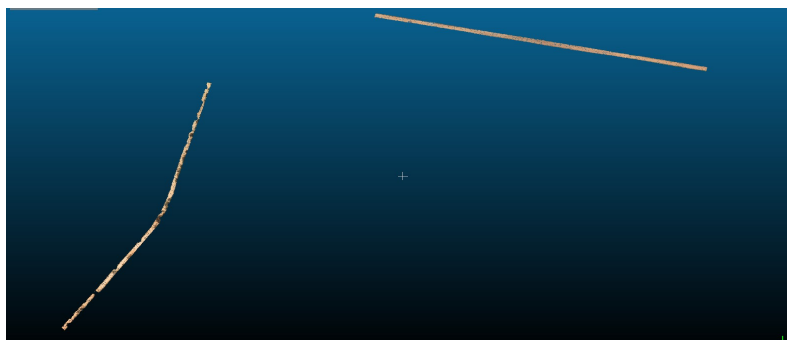
estratégicos, sendo um situado em local com árvores no bordo da estrada e outro em local sem árvores. A figura 5 demonstra os cortes da nuvem de pontos do Laser Scanner.



**Figura 5: Corte de 500m da nuvem do Laser Scanner**

Fonte: Autores (2019)

A figura 6 demonstra os cortes da nuvem de pontos do RPA, situados no mesmo local das nuvens de pontos do Laser Scanner, representadas na figura 5.



**Figura 6: Corte de 500m da nuvem do RPA**

Fonte: Autores (2019)

Nas figuras 5 e 6, o primeiro corte situado no canto inferior esquerdo é o trecho que contém as árvores no bordo da estrada. O segundo corte, situado no canto superior direito da figura é o trecho que não contém árvores no bordo da estrada. Percebe-se que, na figura 5, tanto o primeiro, quanto o segundo corte do Laser Scanner apresentam uma distribuição uniforme dos pontos ao longo de suas extensões. Já na figura 6, que representa os cortes do RPA percebe-se que, no primeiro corte situado no canto inferior esquerdo, a nuvem contém vazios ao longo de sua extensão, devido à remoção dos pontos das árvores pela filtragem do Software Cloud Compare. O segundo corte, situado no canto superior direito da figura é o trecho que não contém árvores no bordo da estrada e que, como não houve interferências de vegetação, apresenta uma distribuição uniforme dos pontos ao longo de sua extensão.

#### **4.5 Análise dos níveis de detalhamento obtidos por RPA e Laser Scanner**

Para analisar os níveis de detalhamento obtidos no levantamento do RPA em relação ao do Laser Scanner, utilizou-se os dados de quatro situações diferentes, sendo elas: as

nuvens de pontos completas obtidas nos levantamentos; as nuvens de pontos da plataforma da estrada; as nuvens de pontos obtidas no trecho de 500m com árvores no bordo da estrada e as nuvens de pontos obtidas no outro trecho de 500m da estrada sem árvores no bordo. No quadro 1, estão representados os referidos dados.

**Quadro 1 – Níveis de Detalhamento do Laser Scanner e RPA**

<b>Situação 1: Nuvens de pontos do levantamento completo</b>				
Equipamentos	Número de Pontos	Área (m <sup>2</sup> )	Pontos por m <sup>2</sup>	Diferença (%)
Laser Scanner	2.847.496	597.490,96	4,766	20,75%
RPA	7.950.623	2.104.838,02	3,777	
<b>Situação 2: Nuvens de pontos da plataforma da estrada</b>				
Equipamentos	Número de Pontos	Área (m <sup>2</sup> )	Pontos por m <sup>2</sup>	Diferença (%)
Laser Scanner	202.554	30.417,01	6,659	47,83%
RPA	105.654	30.417,01	3,474	
<b>Situação 3: Nuvens do trecho de 500m (com árvores no bordo)</b>				
Equipamentos	Número de Pontos	Área do corte (m <sup>2</sup> )	Pontos por m <sup>2</sup>	Diferença (%)
Laser Scanner	28.530	3.347,22	8,523	59,19%
RPA	11.640	3.347,22	3,478	
<b>Situação 4: Nuvens do trecho de 500m (sem árvores no bordo)</b>				
Equipamentos	Número de Pontos	Área do corte (m <sup>2</sup> )	Pontos por m <sup>2</sup>	Diferença (%)
Laser Scanner	34.612	3.703,96	9,345	63,46%
RPA	12.649	3.703,96	3,415	

Fonte: Autores (2019)

No quadro 1, percebe-se que, na situação 1, que se refere aos levantamentos completos dos dois equipamentos, apesar da área mapeada pelo RPA ser maior que a do Laser Scanner, a quantidade de pontos por metro quadrados é 20,75% maior na nuvem do Laser Scanner, em relação a do RPA. A diferença em percentual na situação 1 é menor que as demais, isso ocorreu pelo fato de que, na contagem da nuvem de pontos do RPA foi considerando a nuvem de pontos completa, sem a filtragem das árvores. Isso fez com que aumentasse a quantidade de pontos por metro quadrado do RPA.

Nas outras 3 situações restantes, onde as nuvens de pontos possuem áreas de abrangências iguais, o Laser Scanner apresenta em todas elas uma quantidade de pontos por metro quadrado superior ao RPA.

Na situação 2, a quantidade de pontos por metros quadrados do Laser Scanner é 47,83% maior que a do RPA. Na situação 3 a quantidade de pontos por metros quadrados do Laser Scanner é 59,19% maior que a do RPA. Na situação 4, a quantidade de pontos por metros quadrados do Laser Scanner é 63,46% maior que a do RPA.

#### 4.6 Cálculo e análise dos volumes obtidos por RPA e Laser Scanner

Para se calcular o volume utilizou-se o software Geoffice V2 onde, projetou-se uma superfície de referência plana com as cotas médias dos levantamentos que, neste caso, foi de 794,222m para o trecho com árvores e de 804,120m para o trecho sem árvores no bordo da estrada. Dessa forma, tanto nos cálculos do trecho com árvores, quanto nos cálculos do trecho sem árvores, geraram como resultado os volumes de corte e aterro, quando calculado entre a superfície plana projetada e a do levantamento.

Para analisar os volumes obtidos no levantamento do RPA em relação ao do Laser Scanner, utilizou-se os dados do trecho de 500m com árvores no bordo da estrada e o do trecho de 500m da estrada sem árvores no bordo. No quadro 2 estão representados os referidos dados.

**Quadro 2 – Cálculos de volume do Laser Scanner e RPA**

RPA (trecho com árvores)				RPA (trecho sem árvores)			
C/A	Áreas (m <sup>2</sup> )	Volumes (m <sup>3</sup> )	Altura Média (Volume/Área)	C/A	Áreas (m <sup>2</sup> )	Volumes (m <sup>3</sup> )	Altura Média (Volume/Área)
Corte	2036,454	12187,63	5,985 m	Corte	2417,472	6247,443	2,584 m
Aterro	1296,591	7600,595	5,862 m	Aterro	1247,76	2761,929	2,214 m
LASER SCANNER (trecho com árvores)				LASER SCANNER (trecho sem árvores)			
C/A	Áreas (m <sup>2</sup> )	Volumes (m <sup>3</sup> )	Altura Média (Volume/Área)	C/A	Áreas (m <sup>2</sup> )	Volumes (m <sup>3</sup> )	Altura Média (Volume/Área)
Corte	2001,22	11704,92	5,849 m	Corte	2399,488	6051,548	2,522 m
Aterro	1323,139	7896,935	5,968 m	Aterro	1284,863	2917,173	2,270 m
Diferenças de Volume e Altura Média				Diferenças de Volume e Altura Média			
Dif. Volume Corte		482,717 m <sup>3</sup>	4,12%	Dif. Volume Corte		195,895 m <sup>3</sup>	3,24%
Dif. Volume Aterro		296,34 m <sup>3</sup>	3,75%	Dif. Volume Aterro		155,244 m <sup>3</sup>	5,32%
Dif. Altura Média Corte		0,136 m	2,33%	Dif. Altura Média Corte		0,062 m	2,46%
Dif. Altura Média Aterro		0,106 m	1,78%	Dif. Altura Média Aterro		0,057 m	2,47%

Fonte: Autores (2019)

No quadro 2, ao somar as áreas de corte e aterro do RPA e subtrair pela soma das áreas do Laser Scanner, verifica-se que houve uma diferença entre as áreas, onde no trecho com árvores foi de 8,686m<sup>2</sup> e de 19,119m<sup>2</sup> no trecho sem árvores, isso ocorreu porque mesmo as nuvens de pontos sendo cortadas no mesmo tamanho, seus pontos não se coincidem exatamente no mesmo local, gerando diferenças nas áreas calculadas.

Como se pode observar, no trecho com árvores existe uma diferença entre as alturas médias calculadas pelo RPA e o Laser Scanner de 0,136m no corte e 0,106m no aterro. Entretanto no trecho sem árvores, essa diferença na altura média é menor, apresentando valores de 0,062m de corte e 0,057m de aterro.

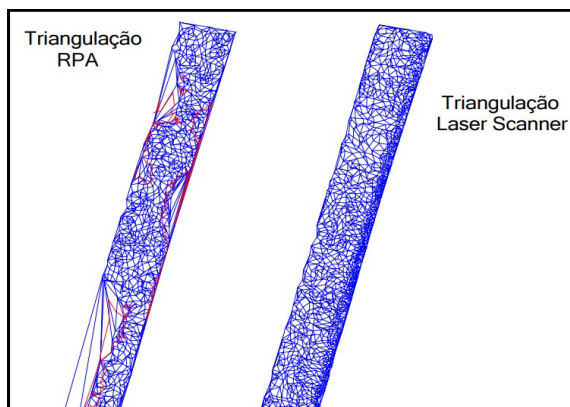
Além disso percebe-se uma diferença entre os volumes calculados pelo RPA e o Laser Scanner de 428,717m<sup>3</sup> de corte e 296,34m<sup>3</sup> de aterro no trecho com árvores. Os valores percentuais das diferenças encontradas nos cálculos de volumes de corte e aterro

calculados pelo RPA em relação volumes obtidos pelo Laser Scanner, são de 4,12% maior em corte e 3,75% menor em aterro.

Já no trecho sem árvores essa diferença volumétrica é menor, apresentando valores de 195,895m<sup>3</sup> de corte e 155,244m<sup>3</sup> de aterro. Nota-se que os valores percentuais das diferenças encontradas nos cálculos de volumes de corte e aterro calculados pelo RPA em relação aos volumes obtidos pelo Laser Scanner, são de 3,24% maior em corte e 5,32% menor em aterro.

Como se pode perceber, as maiores diferenças encontradas nas alturas médias e cálculos de volume estão presentes no levantamento do RPA no trecho composto por árvores no bordo da estrada. Isso ocorreu pelo fato de sua nuvem de pontos nesse trecho apresentar vazios, ocasionados pela filtragem aplicada no software Cloud Compare, para remover as árvores a fim de haver uma melhor representação da superfície. Isso fez com que a triangulação para o cálculo de volume ficasse mais distante, causando interferências nos resultados.

A figura 7 demonstra parte das triangulações do RPA e do Laser Scanner do mesmo local obtidos no software Geoffice V2.



**Figura 7: Triangulação Laser Scanner e RPA**  
Fonte: Autores (2019)

Na figura 7, verifica-se que a triangulação do Laser Scanner apresenta uma densidade constante ao longo do trecho demonstrado, com arestas mais curtas.

Já o RPA apresenta triangulações mais espaçadas nos locais que faltam pontos, ocasionados pela filtragem das árvores, causando distorções na representação da superfície da estrada e consequentemente no cálculo de volume.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em questão cumpriu o seu objetivo principal, que era analisar em termos de nível de detalhamento e volume de movimentação de terra do levantamento Aerofotogramétrico feito por RPA, em relação ao levantamento topográfico feito por Laser Scanner Terrestre Estático, aplicado em um projeto geométrico de estradas.

A nuvem de pontos do RPA apresenta uma grande diferença volumétrica em relação à do Laser Scanner, havendo perda de pontos nos locais com árvores e um nível de detalhamento menor da superfície do terreno. A vegetação interfere nos resultados do levantamento aéreo do RPA, proporcionando perda de pontos na superfície do terreno que, por sua vez, para obter uma cobertura satisfatória, faz-se necessário mobilizar uma equipe para a realização do levantamento terrestre, nos locais com presença de árvores. Essa nova mobilização, a fim de detalhar melhor a triangulação dos pontos para os cálculos de volume torna mais oneroso o projeto geométrico de estrada.

Por esses motivos, recomenda-se o uso do RPA para anteprojetos de estrada, pois o mesmo abrange uma área grande em pouco tempo de levantamento. Além disso, o modelo digital do terreno nos oferece uma boa base, pelo qual se pode visualizar o terreno em cores RGB, ou seja, as cores visíveis ao olho humano, auxiliando nas tomadas de decisão. Também tem uma quantidade reduzida de pessoas envolvidas nesse processo de levantamento, trazendo um melhor custo benefício. Esse tipo de levantamento ainda pode ser utilizado em projetos de restaurações de estradas pelo fato de não haver distorções ocasionadas pelas árvores neste tipo de levantamento.

Já o Laser Scanner é recomendado para a realização de levantamentos para fins de projetos de estradas, uma vez que, apresenta uma densidade de pontos por metro quadrado superior quando comparado ao RPA, cobrindo melhor a área medida, tendo em vista que, quanto mais detalhado for o terreno, mais próximos do real são os cálculos. Além disso, seu método de levantamento não é prejudicado pela vegetação no bordo, pois ele é posicionado sobre a plataforma da estrada e, com isso, consegue coletar pontos da superfície de interesse sem as interferências das árvores. Seu alto desempenho torna o levantamento muito mais rápido, agilizando todo o processo, pois, com os cálculos volumétricos mais próximos da realidade, conseqüentemente faz com que os resultados acerca da movimentação de terra sejam mais próximos do real.

É importante ressaltar que não se fez a comparação com o método tradicional de levantamento por Estação Total, pelo fato de que, para um levantamento de classe II PAC

exige-se apenas 60 pontos por hectare, que tornou inviável a comparação, já que o Laser Scanner registra em média 73.232 pontos por hectare e o RPA 35.360 pontos por hectare, são quantidades muito superiores em relação aos 60 pontos por hectare da estação total que é exigida pela NBR 13133.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de levantamentos topográficos**. NBR 13133. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE VIAÇÃO CIVIL. **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release\\_drone.pdf](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf)>. Acesso em 12 mai. 2019.

COSTA, et al. **Estudo comparativo entre o cálculo de volumes obtido a partir de levantamento topográfico realizado por diferentes tipos de equipamentos**. Belo Horizonte: TCC, 2018.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de implantação básica de rodovia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

FERRAZ, REIS, SOUZA. **Laser scanner terrestre: teoria, aplicação e prática**. Pato Branco: Revista RBGEO, 2016.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GONÇALES, Rodrigo. **Dispositivo de varredura 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis**. São Paulo: ed.rev., 2007.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

MATOS, J. L. **Fundamentos de informação geográfica**. 2 ed. Lisboa: Lidel, 2001.

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

PIMENTA, Carlos R. T; OLIVEIRA, Márcio P. **Projeto geométrico de rodovias**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2016.

TULER, Marcelo; SARAIVA Sérgio. **Fundamentos de topografia**. Porto Alegre: Bookman, 2014