

ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE TERRAPLENAGEM A PARTIR DE RECOBRIMENTO AÉREO REALIZADO POR AERONAVE REMOTAMENTE TRIPULADA

Samantha Pinto Ferreira¹, David Luciano Rosalen²

¹ Engenheira Civil, consultora na área de projetos – samanthaferreira@terra.com.br.

² Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor da Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus de Jaboticabal – rosalen@fcav.unesp.br

RESUMO

Na elaboração de projetos terraplenagem, utilizam-se levantamentos topográficos planialtimétricos convencionais. Os levantamentos aerofotogramétricos são novas ferramentas apresentadas no mercado. O objetivo deste trabalho foi avaliar os dados planialtimétricos resultantes de um levantamento aerofotogramétrico utilizando RPA (Aeronave Remotamente Pilotada) com VANT eBee Ag da Sensefly comparando o em relação a um levantamento planialtimétricos por receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) Geodésico método de posicionamento Semicinemático em relação a uma superfície projetada (platôs e bancadas) simulando um projeto de engenharia, onde foram calculadas as diferenças volumétricas de corte e aterro através de dois métodos de cálculo: das seções e das alturas. Foram observadas diferenças altimétricas entre os levantamentos que resultou na discrepância dos volumes resultantes. Desta forma os levantamentos aerofotogramétricos por meio de RPA não substituem os levantamentos topográficos convencionais para elaboração de projetos de terraplenagem e sim um complemento na coleta de dados. Destacando-se a necessidade novas pesquisas na área em questão.

Palavras chave: Levantamentos topográficos, GNSS, RPA, Terraplenagem.

ABSTRACT

In the design of earthworks projects, conventional topographic surveys are used. Aerophotogrammetric surveys are new tools presented in the market. The objective of this work was to evaluate the planialtimetric data resulting from an aerial photogrammetric survey using RPA (Remotely Piloted Aircraft) with Sensefly's VEE eBee Ag comparing it in relation to a planialtimetric survey by GNSS receivers (Global Navigation Satellite System) Geodetic Semicinemmatic Positioning Method in with respect to a projected surface (plateaus and benches) simulating an engineering project, where the volumetric differences of cut and landfill were calculated through two calculation methods: sections and heights. Altimetric differences were observed between the surveys that resulted in the discrepancy of the

resulting volumes. In this way aerial photogrammetric surveys by RPA do not replace the conventional topographic surveys for the elaboration of earthworks projects but a complement in the collection of data. Highlighting the need for more research in the area in question.

Keywords: Topographic surveys, GNSS, RPA, Earthworks.

INTRODUÇÃO

Atualmente para a realização de levantamentos topográficos planialtimétricos são utilizados equipamentos óticos como a estação total e o nível. Também são utilizados receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Esses equipamentos exigem que os dados sejam coletados *in loco*. Com o avanço tecnológico, novos equipamentos e métodos estão surgindo, como os levantamentos aerofotogramétricos por meio de Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAS, que podem complementar ou até mesmo substituir os métodos de levantamento *in loco*.

Na elaboração dos projetos de terraplenagem para implantação de loteamentos, *shopping centers*, rodovias, etc. fazem-se necessários levantamentos topográficos como primícias aos estudos iniciais, determinação de custos, acessibilidades, implantação, etc.. Esses levantamentos são realizados *in loco*, porém com o surgimento de novas tecnologias, como as RPAS, há a necessidade de se realizar estudos que verifiquem a viabilidade dessa tecnologia na realização desses levantamentos.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi verificar a viabilidade da realização de levantamento topográfico, utilizando-se da tecnologia de RPAS, em relação a uma superfície projetada (platôs e bancadas) simulando um projeto de engenharia, verificando a possível influencia de vegetações para tal tecnologia, assim como também avaliar dois métodos de cálculo volumétrico, o método das seções e o método das alturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido numa gleba de terras situada no campus da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP, localizado em torno da latitude 21°15'22"S e da longitude 48°15'58"W com uma altitude média de 576 m. A área experimental era de 310 m x 310 m, totalizando 96.100 m² (Figura 1).

Figura 1: Área de estudo



Fonte: Adaptado de imagem do Google Earth (2017).

Na área de estudo realizou-se levantamento topográfico *in loco* utilizando-se de receptor GNSS Geodésico, método de posicionamento Semicinemático. Para o pós-processamento das observáveis GNSS utilizou-se o *software* Trimble Business Center. Todos os pontos levantados tiveram sua ambiguidade fixa, atingindo qualidade de posicionamento planialtimétrico na ordem de centímetros.

Posteriormente, realizou-se cobertura aerofotogramétrico com o RPA eBee da Sensefly (Figura 2). O voo foi realizado a uma altura de 160 m, proporcionando uma resolução de 5cm no terreno. Foram implantados na área sete pontos de controle, cujas coordenadas foram determinadas através da mesma metodologia do levantamento topográfico *in loco*. O sensor utilizado na RPA foi uma câmera Canon IXUS127 HS, que gera imagens RGB com aproximadamente 16,1 milhões de pixels. Para o processamento pós-voo utilizou-se o *software* Postflight Terra 3D. Através deste *software* gerou-se a nuvem de pontos numa malha de 10 m x 10 m.

Ambos os resultados, do levantamento *in loco* e do recobrimento aerofotogramétrico foram exportados para o *software* AutoCAD Civil 3D 2014 para geração do modelo digital de terreno, desenho de curvas de nível, elaboração do mapa de diferença de altitudes (entre o levantamento *in loco* e o aerolevanteamento) e cálculos volumétricos. Destaca-se que para ambos os levantamentos gerou-se curvas de nível a cada 10cm.

Para estudo do caso foi projetada uma superfície fictícia (greide) com duas bancadas (platôs) nas cotas 535 m e 565 m e taludes de 45° de inclinação (1:1) entre as bancadas e de fechamento da área. Essa superfície fictícia simula um projeto de engenharia, com cotas definidas para que fossem apresentadas áreas em corte e em aterro e o respectivo cálculo das diferenças volumétricas entre o levantamento *in loco* e o levantamento aerofotogramétrico.

Figura 2: Imagem da RPA eBee da Sensefly utilizada no trabalho.



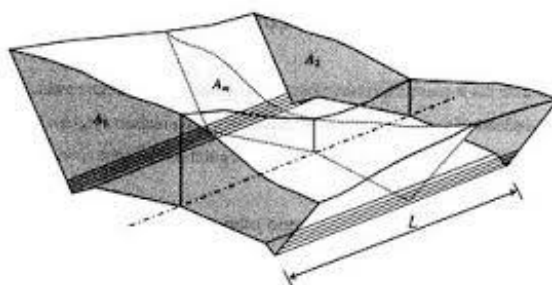
Fonte: Rosalen (2015).

Utilizou-se dois métodos para o cálculo de volumes, o método das seções e o método das alturas.

Métodos das seções

A Fórmula utilizada no método das seções para o cálculo dos volumes foi a do prisma, também conhecida como fórmula para cálculo de volume pelas áreas extremas (Figura 3 e Equação 1). Para a realização desse método utilizou-se também de uma planilha eletrônica. Nesse método estabeleceu-se 31 seções, espaçadas a cada 10 m. Essas seções foram automaticamente geradas no *software* AutoCAD Civil 3D 2014.

Figura 3 – Prismóides (sólidos geométricos).



Fonte: PONTES FILHO (1998)

Equação 1

$$V_m = \frac{L}{2} \cdot (A_1 + A_2)$$

Em que:

V_m - Volume médio (m^3)

A_1 e A_2 - áreas das seções transversais extremas (m^2);

A_m - Média da área das seções transversais A_1 e A_2 (m^2);

L - distância entre as seções A_1 e A_2 (m).

Métodos das alturas

Para aplicação desse método utilizou-se também o *software* AutoCAD Civil 3D 2014. Nesse método é calculado o volume entre a superfície do terreno natural e do terreno projetado, utilizando-se da rede triangular gerada na modelagem digital de terreno.

Com o objetivo de verificar a influência da presença de vegetação na modelagem do terreno realizada a partir da cobertura aerofotogramétrica, elaborou-se um estudo com aproximadamente 20% da área total. Essa área com 125 m x 160 m (20.000 m^2), foi selecionada na porção nordeste, onde a presença de vegetação era menor e/ou de porte mais baixo). Para essa área realizou-se os mesmos procedimentos da área total, com a única diferença de se ter adotado um único platô de cota igual a 548 m (taludes também de 45°). Destaca-se que devido ao fato do talude ser de menor dimensão, foi estabelecido um número de seções menor, no caso 14 seções, também espaçadas a cada 10 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 exibe o mosaico da área de estudo, onde nota-se a presença de vegetação.

Figura 4: Mosaico da área em estudo



Fonte: Rosalen (2015).

As Figuras 5 e 6 exibem as curvas de nível obtidas a partir do modelo digital de terreno oriundo dos dados altimétricos dos levantamentos realizados na área de estudo.

Figura 5: Curvas de nível com equidistância vertical de 10 cm obtidas com os dados altimétricos do levantamento planialtimétrico realizado *in loco*.

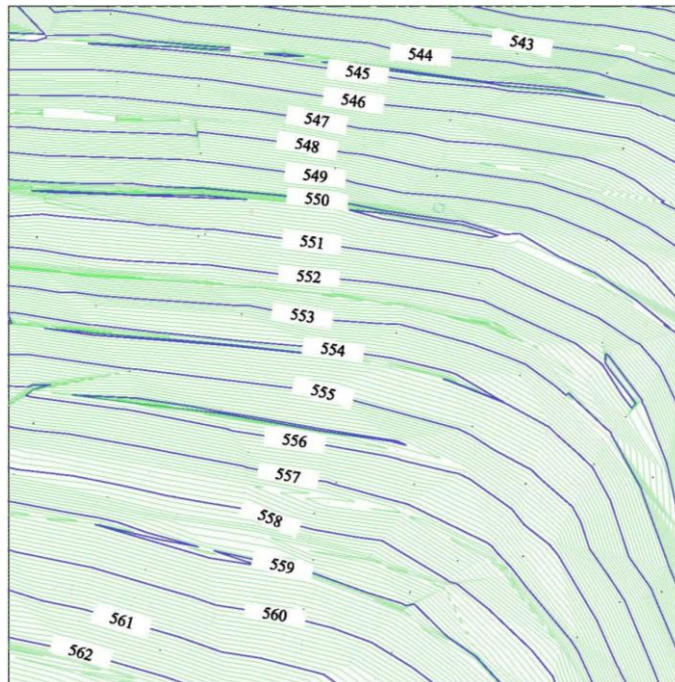
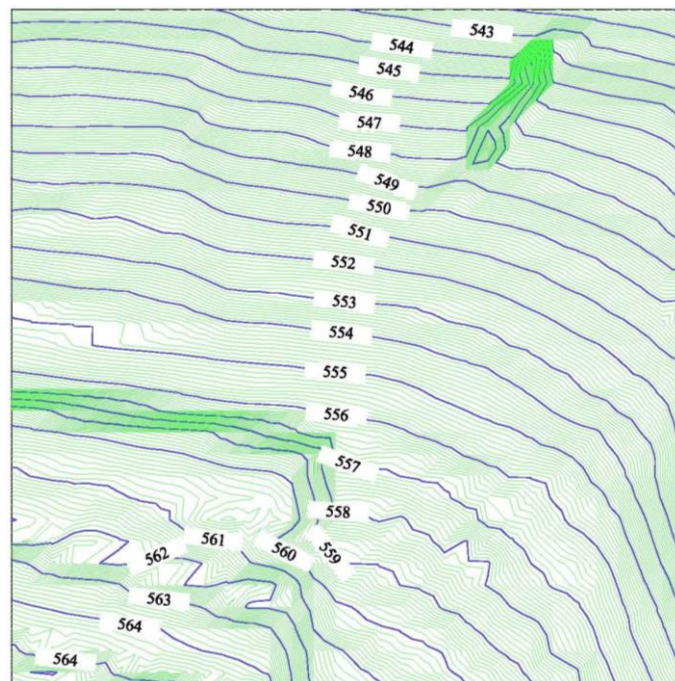


Figura 6: Curvas de nível com equidistância vertical de 10 cm obtidas com os dados altimétricos por levantamento por cobertura aerofotogramétrica com RPA.



Comparando-se as Figuras 5 e 6, nota-se que ocorreram diferenças altimétricas na porção sudoeste e extremo norte da área de estudo. Esse fato pode ser explicado pela presença de vegetação na área, fato que prejudicou a geração da nuvem de pontos no processamento pós-voo, mesmo tendo-se realizado filtragem de dados durante esse processamento.

Os resultados da diferença altimétrica entre os dois levantamentos é exibido na Figura 7.

Figura 7: Mapa com a diferença altimétrica obtidas entre os dados do levantamento por cobertura aerofotogramétrico com RPA e levantamento planialtimétrico realizado *in loco*.



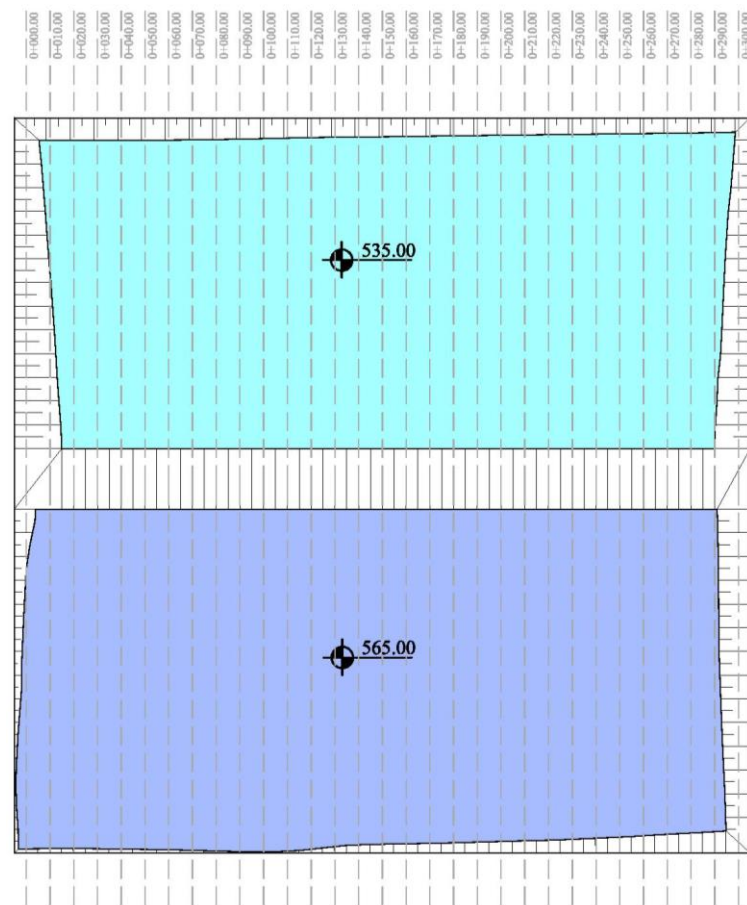
LEGENDA:

Cor	Mínima Elevação (m)	Maxima Elevação (m)	Área (%)
Verde	0.00	1.00	69
Amarelo	1.00	2.00	15
Vermelho	2.00	3.00	16

Nota-se que as maiores diferenças (áreas azuis) coincidem com as áreas de maior discrepância entre as curvas de nível (vide figuras 5 e 6).

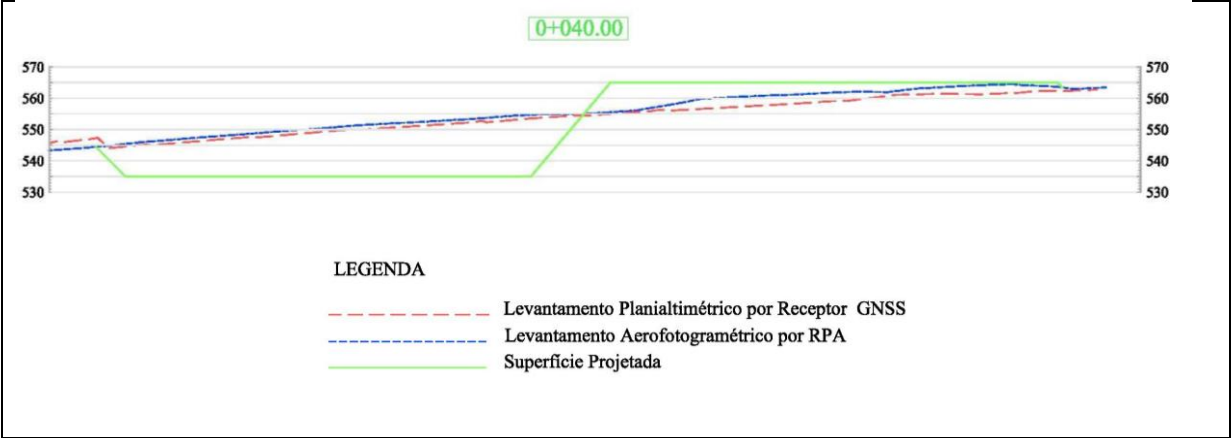
A Figura 8 exhibe a superfície projetada (greide), nesta observa-se os dois platôs, um na cota 535 m e outro na cota 565 m e taludes de 45° de inclinação (1:1) entre as bancadas e de fechamento da área.

Figura 8: Superfície fictícia projetada (greide)



Das 31 seções, a título de ilustração, a Figura 9 exibe a seção 0 + 40,00 m.

Figura 9 – Seção Transversal com os perfis do terreno natural obtidos por levantamento aerofotogramétrico com RPA e levantamento planialtimétrico por receptor GNSS e terreno projetado (greide).



As Tabelas 1 e 2 exibem os valores dos volumes de corte e aterro obtidos a partir das duas metodologias de cálculo de volumes.

Tabela 1: Volumes de corte e de aterro calculados pelo método das seções. Obtidos no levantamento por cobertura aerofotogramétrica com RPA e levantamento planialtimétrico realizado *in loco*.

	RPA (m ³)	Receptor GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (%)
Corte	585.836	554.315	31.521	5,4
Aterro	287.182	345.622	-58.440	-20,3

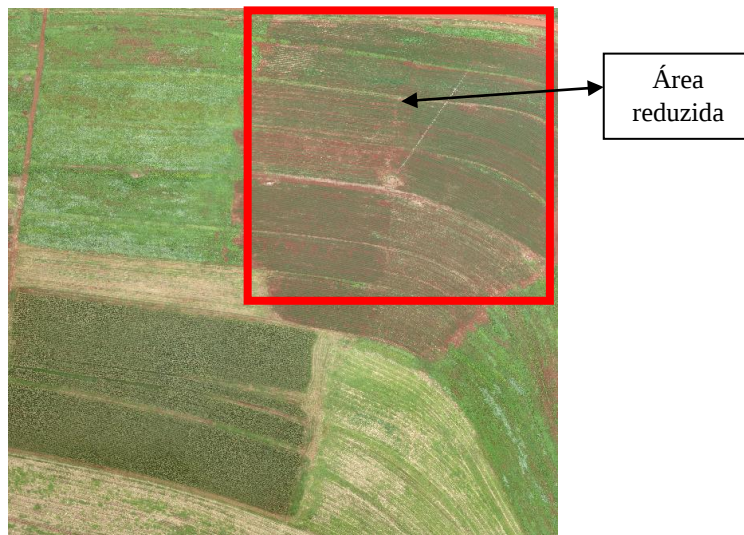
Tabela 2: Volumes de corte e aterro calculados pelo método das alturas. Obtidos no levantamento por cobertura aerofotogramétrico com RPA e levantamento planialtimétrico realizado *in loco*.

	RPA (m ³)	Receptor GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (%)
Corte	592.043	560.473	31.570	5,3
Aterro	291.839	350.981	-59.142	-20,3

Nota-se, observando os dados exibidos pelas tabelas 1 e 2, que os dois métodos utilizados para o cálculo de volumes apresentaram praticamente os mesmos valores. A diferença volumétrica para a área de corte ficou em torno de 5% e de aterro em 20% nos dois métodos. Acredita-se que essa diferença se deve as discrepâncias das duas superfícies topográficas obtidas nos levantamentos, devido à influência de vegetação.

A Figura 10 exibe a área recortada da área total para verificação do impacto da presença da vegetação.

Figura 10: Mosaico da área experimental reduzida.



As figuras 11 e 12 exibem as curvas de nível a cada 10 cm para essa área reduzida.

Figura 11: Curvas de nível com equidistância vertical de 10 cm obtidas com os dados altimétricos do levantamento planialtimétrico realizado *in loco* (área reduzida).

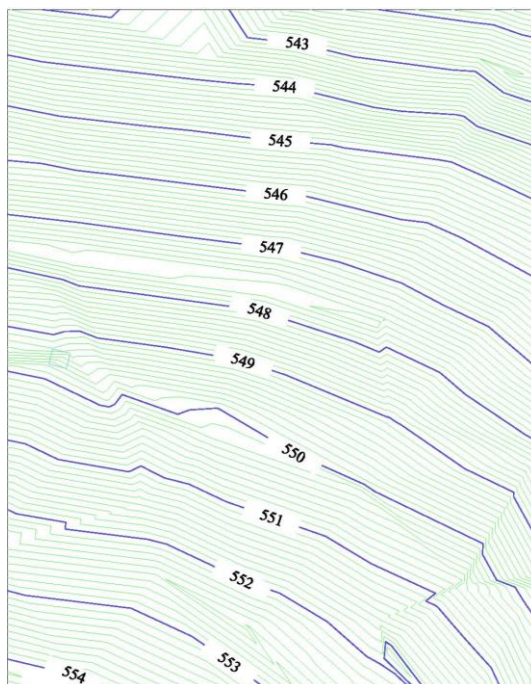
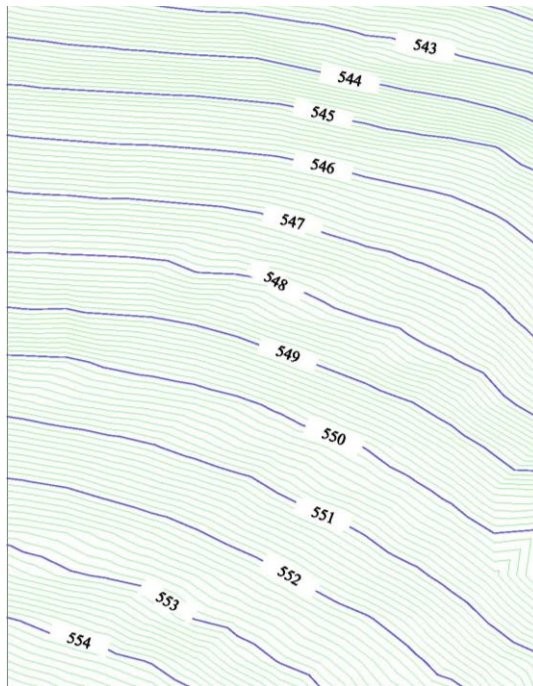


Figura 12: Curvas de nível com equidistância vertical de 10 cm obtidas com os dados altimétricos do levantamento por cobertura aerofotogramétrico com RPA (área reduzida).



Analisando as curvas de nível dos dois levantamentos (Figuras 11 e 12) observaram-se menores diferenças altimétrica, que foram confirmados através do novo mapa de diferença altimétrica (Figura 13).

Figura 13: Mapa com a diferença altimétrica obtidas entre os dados do levantamento por cobertura aerofotogramétrico com RPA e levantamento planialtimétrico realizado *in loco*. (área reduzida).

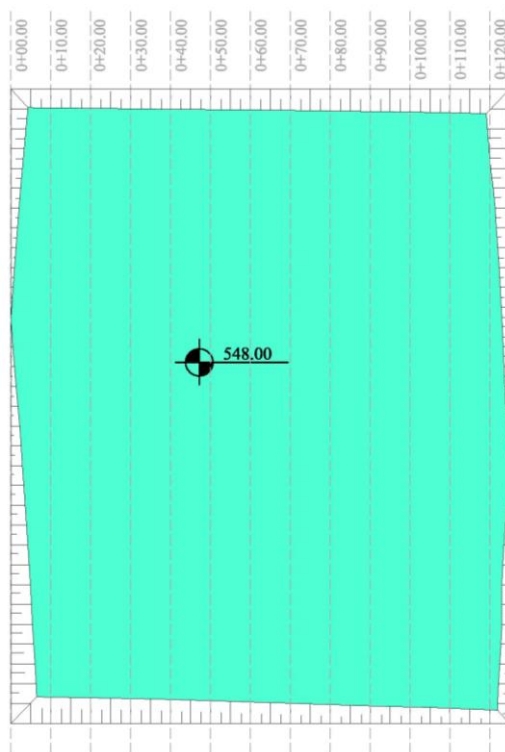


LEGENDA:

Cor	Minima Elevação (m)	Maxima Elevação (m)	Área (%)
	0.00	0.25	9
	0.25	0.50	79
	0.50	1.00	12

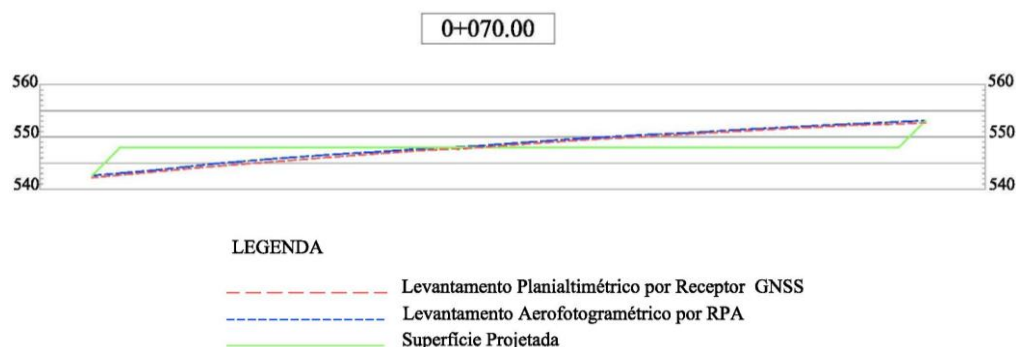
A Figura 14 apresenta a superfície projetada reduzida (greide), que considerou aproximadamente 20% da área total, utilizando platô único na cota 548,00m e taludes de 45° de inclinação (1:1) para fechamento da área.

Figura 14: Superfície fictícia projetada (greide) (área reduzida).



A Figura 15 exibe, a título de exemplo, a seção 0 + 70,00 m em relação ao novo greide projetado.

Figura 15 – Seção Transversal com os perfis do terreno natural obtidos por levantamento aerofotogramétrico com RPA e levantamento planialtimétrico por receptor GNSS e terreno projetado (área reduzida).



As Tabelas 3 e 4 exibem os valores dos volumes de corte e aterro obtidos a partir das duas metodologias de cálculo de volumes para a nova área em estudo (reduzida).

Tabela 3: Volumes de corte e de aterro calculados pelo método das seções. Obtidos no levantamento por cobertura aerofotogramétrico com RPA e por levantamento planialtimétrico realizado *in loco*. (área reduzida).

	RPA (m ³)	Receptor GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (%)
Corte	28.851	25.435	3.416	11,8
Aterro	18.451	21.728	-3.277	-17,8

Tabela 4: Volumes de corte e aterro calculados pelo método das alturas. Obtidos no levantamento por cobertura aerofotogramétrico com RPA e por levantamento planialtimétrico realizado *in loco* (área reduzida).

	RPA (m ³)	Receptor GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (m ³)	Diferença RPA/GNSS (%)
Corte	29.961	26.476	3.485	11,6
Aterro	19.049	22.402	-3.353	-17,6

Os dois métodos utilizados para o cálculo dos volumes resultaram, de forma similar nos cálculos em área total, praticamente os mesmos valores nas duas metodologias de cálculo volumétrico. A diferença volumétrica para a área de corte ficou em torno de 12% e de aterro em torno de 18%. Comparando-se com os cálculos em área total, ocorreu um melhor balanço nos erros, isto é, a discrepância entre corte e aterro foi menor. Porém, no caso da situação de corte ocorreu uma discrepância maior. Esse resultado pode ser devido ao fato de que mesmo selecionando-se uma área mais livre de vegetação, esta ainda estava presente, podendo ter interferido nos resultados. Dessa forma, há a necessidade da realização de mais estudos de forma a validar a realização de projetos de terraplanagem a partir de dados altimétricos obtidos através de aerolevantamentos realizados por aeronaves remotamente pilotadas.

CONCLUSÕES

Para a elaboração de projetos de terraplenagem, pode-se concluir que os métodos de cálculos utilizados apresentaram praticamente os mesmos valores, portanto, ambos são viáveis para o cálculo dos volumes. Para o estudo dos casos apresentados, os resultados obtidos dos volumes de corte e aterro entre os levantamentos, demonstrou que o levantamento por cobertura aerofotogramétrica com empregos de aeronaves remotamente pilotadas não substituem os levantamentos realizados *in loco* através de receptores GNSS Geodésicos, quando a superfície do terreno natural tiver a presença de vegetação.

REFERÊNCIAS

BORGES, A.C. **Topografia aplicada à Engenharia Civil**. Vol. 2. São Paulo: Edgard Blucher. 3 ed. 2013. p.39-47, p.159-160.

DRONENG. **Topografia com Drones a evolução tecnológica**. Disponível em: <http://blog.droneng.com.br/topografia-com-drones>. Acesso em 28 de setembro de 2017.

GEO DRONES. **Topografia Tradicional ou topografia com o uso de drones**. Disponível em: <http://geodrones.com.br/blog/topografia-tradicional-ou-topografia-com-o-uso-de-drones>>. Acesso em 18 de abril de 2017.

PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. São Carlos: Glauco Pontes Filho. 1 ed. 1998. p.257.

MUNDO GEO. **Estudo de Caso de um levantamento topográfico altimétrico realizado com estação total e laser scanning terrestre**. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2011/09/08/estudo-de-caso-de-um-levantamento-topografico-altimetrico-realizado-com-estacao-total-e-laser-scanning-terrestre>. Acesso em 18 de abril de 2017.

PORTAL DOS EQUIPAMENTOS. **Drones fazem a topografia de obras em minutos, o que antes levava dias**. Disponível em: https://www.portaldosequipamentos.com.br/equipanews/cont/m/drones-fazem-a-topografia-de-obras-em-minutos-o-que-antes-levava-dias_12368_39>. Acesso em 28 de setembro de 2017.

ROSALEN, D.L. **RPA 20150506_102648.jpg**. 2015. Altura: 1840 pixels. Largura: 3264 pixels. 3,84 Mb. Formato JPEG. Hard disk.