

19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

COMPARAÇÃO DE VOLUME DE ATERRO OBTIDO VIA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) E GNSS/RTK

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Francisco Augusto Veron Boeira¹; Daniela Kunz²; Marcus Vinícius Paula de Lima³; Marcela Leão Domiciano⁴ & José Gustavo Venâncio da Silva Ramos^{1,4}

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo comparar resultados obtidos em um projeto de terraplenagem para levantamentos topográficos provenientes de técnicas de topografia por GNSS/RTK e aerofotogrametria por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), visando o cálculo do volume necessário para terraplenagem de uma região onde havia acúmulo excessivo de resíduos sólidos, provenientes de descarte indevido, que foram removidos. Na coleta de dados por aerolevantamento foi utilizada uma RPA e aplicativo para execução de plano de voo e feito processamento juntamente com pontos de controle coletados, com isso foram obtidos valores topográficos do objeto de estudo, que foram representados na forma de Modelo Digital de Terreno. Para o levantamento topográfico foi utilizado um equipamento receptor GNSS operando em método de posicionamento RTK (*Real-Time Kinematic*). Com os projetos de terraplenagem realizados, utilizando-se dos dois métodos de obtenção de dados, aerofotogrametria por RPA e topografia por GNSS/RTK, obteve-se uma diferença abaixo de 5% no volume total calculado para o aterro do local estudado. Desta forma, conclui-se que o uso da aerofotogrametria por RPA se mostrou satisfatório para o cálculo do volume de aterro/corte do local.

PALAVRAS-CHAVE: Topografia; Aerofotogrametria; RPA; GNSS; Terraplenagem.

ABSTRACT

The objective of this work was to compare results obtained in an earthwork project for topographic surveys from GNSS/RTK topography and Remotely Piloted Aircraft (RPA) aerophotogrammetry techniques, in order to calculate the volume needed to earthworks in a region where there was excessive accumulation of solid waste, which was removed from improper disposal. In the collection of data by aerial survey, an RPA and application were used to execute the flight plan and processed together with control points collected, with these topographical values of the object of study were obtained, which were represented in the form of Digital Terrain Model. For the topographic survey, a GNSS receiver equipment operating in RTK (*Real-Time Kinematic*) positioning method was used. With the earthworks projects carried out, using the two methods of obtaining data, aerophotogrammetry by RPA and topography by GNSS/RTK, a difference below 5% was obtained in the total volume obtained for the landfill of the studied site. In this way, it is concluded that the use of aerophotogrammetry by RPA proved to be satisfactory for the calculation of the volume of fill/cut of the site.

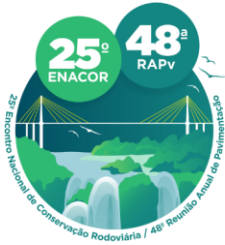
KEY WORDS: Topography; Aerophotogrammetry; RPA; GNSS; Earthwork.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: franciscoboeira@hotmail.com; jose.ramos@ifg.edu.br

² Faculdade Uniguaçu, e-mail: dani-kunz@hotmail.com

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: mavipali01@gmail.com.

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, e-mail: marcela.domiciano@ifg.edu.br; jose.ramos@ifg.edu.br



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

Para um projeto de engenharia de infraestrutura, a definição do local a ser implantado e a coleta de dados com informações sobre relevo e outras estruturas que possam existir no local são de suma importância. Nesse contexto, o equipamento denominado estação total é amplamente utilizado no levantamento dos dados topográficos, porém, os levantamentos utilizando este aparelho contemplam grandes custos e necessitam de muito tempo para serem concluídos, o que em alguns casos, é fator determinante para a conclusão das obras (CAMPOS *et al.*, 2019).

Com o avanço tecnológico, surgiram novos métodos de caracterização da superfície terrestre. Tais métodos provêm principalmente do desenvolvimento das tecnologias dos equipamentos usados para coleta e processamento de dados (BORGES *et al.*, 2018).

A partir da necessidade do entendimento topográfico, e visando a maior eficiência na obtenção de dados para análise das condições de relevo para uma melhor utilização dos espaços na Engenharia Civil, destaca-se a fotogrametria. Essa tecnologia pode ser caracterizada pela obtenção de informação sobre objetos físicos de modo confiável através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas (ARAÚJO; MARCATO JUNIOR, 1979).

Uma subdivisão da fotogrametria convencional é a aerofotogrametria, que trata da obtenção dos dados por meio de fotografias do terreno com o uso de uma câmera de alta resolução acoplada a uma aeronave, podendo esta ser remotamente pilotada (RPA).

Isto posto, este trabalho consiste no uso de métodos de aerofotogrametria para a realização do cálculo do volume necessário para um serviço de terraplenagem em uma região onde havia acúmulo excessivo de resíduos sólidos provenientes de descarte indevido, e realizar a comparação com resultados obtidos por meio de métodos de topografia por GNSS/RTK. É importante destacar que os custos referentes a utilização dessas tecnologias não fazem parte do escopo deste trabalho, uma vez que tais dados não foram disponibilizados pela empresa executora da tarefa, sendo assim, não é possível concluir qual possui um melhor custo-benefício.

A análise ocorreu no local de implantação do acesso do Contorno Norte do Anel Viário (Rodoanel) da cidade de Ponta Porã – MS, obra que visa a redução do trânsito de veículos pesados dentro da cidade, e com isso, a melhoria da qualidade de vida da população pontaporanense.

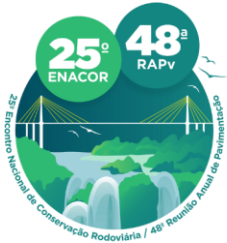
METODOLOGIA

Objeto de Estudo

O objeto de estudo desse projeto é a obra do acesso que conecta o Anel Viário de Ponta Porã com a BR-164 (Figura 1), o qual fica totalmente compreendido no retângulo formado entre as coordenadas 22°28'7.46"S, 55°44'51.16"O e 22°28'15.28"S, 55°44'43.17"O. Devido às condições do solo encontrado, necessitou-se a remoção do solo contaminado para posterior reaterro. Tendo isso em vista, buscou-se o cálculo do volume de aterro necessário para a continuidade da obra.

Aerofotogrametria por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)

Para obtenção dos dados necessários para o cálculo volumétrico, por meio do uso da RPA, foi realizada a coleta de imagens aéreas, em formato JPEG, que possuem pontos de amarração no sistema de coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude). Visando melhor precisão e acurácia dos modelos gerados, foram coletados 4 Pontos de Controle (GCP) com uso do GNSS/RTK, sendo dois pontos coletados às margens da rodovia BR-164, um poste existente no local e um marco de divisa entre os países Brasil e Paraguai, também representados na Figura 1.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 1. Local de estudo com pontos de controle destacados em azul (AUTOR, 2023).

O equipamento utilizado foi uma aeronave da marca Parrot, modelo Anafi Work 4K, equipada com uma câmera de 21 megapixels e GPS, sendo este último de suma importância para a confecção dos produtos aerofotogramétricos. A captura das imagens foi feita de modo programado com o uso do aplicativo Pix4DCapture, que controla a RPA e captura fotografias aéreas do local como uma malha 2D, exibida no plano de voo presente na Figura 2. O voo foi realizado na altura de 60 metros acima do solo, com o eixo da câmera posicionado para a vertical e com um *overlap* (que controla a distância paralela que a RPA tira as fotos) de 70%, resultando num GSD (Distância de Amostra do Solo) médio de 2,00 cm por pixel (resolução da captura da malha). Foram obtidas 72 imagens, que possibilitaram a confecção dos produtos cartográficos almejados.

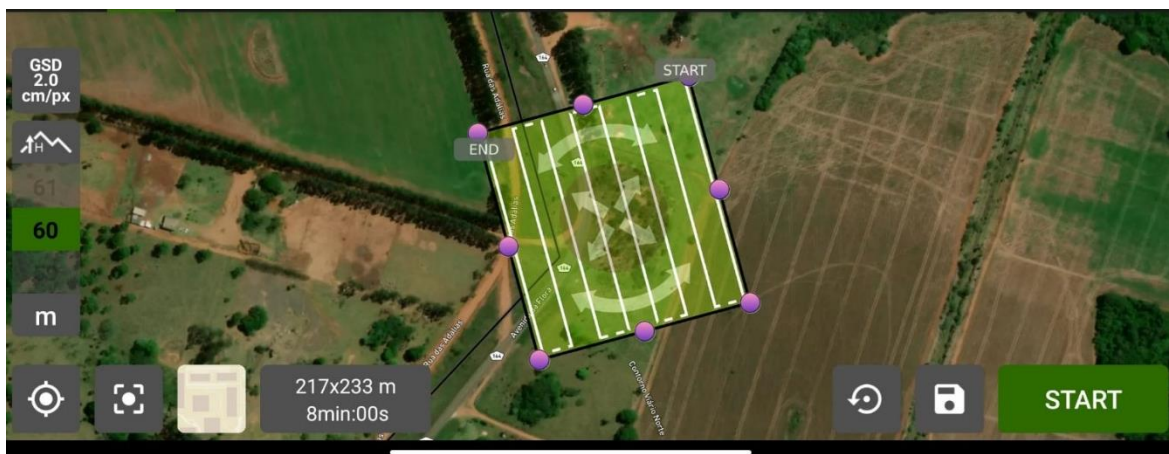
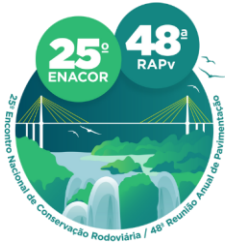


Figura 2. Plano de voo sobre a superfície de interesse (AUTOR, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O processamento fotogramétrico das imagens obtidas com a RPA foi realizado pelo programa Agisoft Metashape, que utiliza do recobrimento entre as fotos (Figura 3) para identificação de pontos em comum contidos nas imagens, que juntamente com a posição de obtenção das mesmas e as características da câmera utilizada, como inclinação e distância focal, gera os produtos desejados. Para um melhor resultado, foi escolhido um dia e horário no qual a iluminação não atrapalharia a nitidez das imagens capturadas para que os pontos em comum entre as fotos ficassem bem perceptíveis.

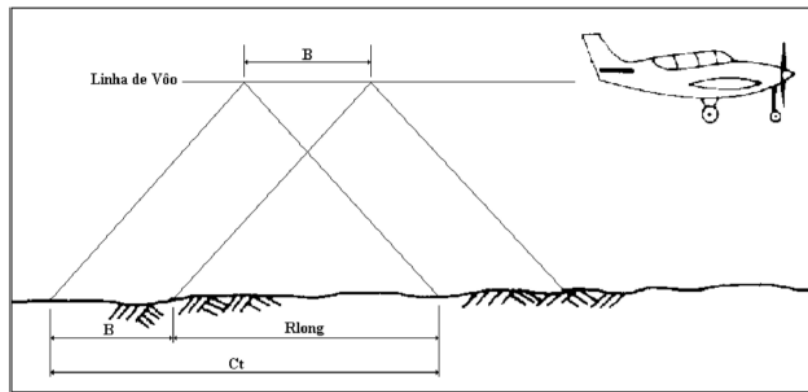


Figura 3. Recobrimento entre fotos (TEMBA, 2000).

As imagens obtidas no sobrevoo em conjunto com a correção por meio dos pontos de controle (GCP) geraram o modelo digital de elevação e o ortomosaico, que posteriormente foram utilizados no projeto de terraplenagem. Para a realização deste projeto utilizou-se o modelo digital de terreno (MDT) do objeto de estudo, representado na Figura 4 e que foi feito a partir da classificação do terreno natural, desconsiderando assim os objetos que não pertencem ao mesmo. No estudo considerou-se apenas a topografia do objeto de estudo, das rodovias e pontos sem vegetação, sendo então os pontos desconsiderados substituídos por pontos provenientes da relação entre os pontos considerados.

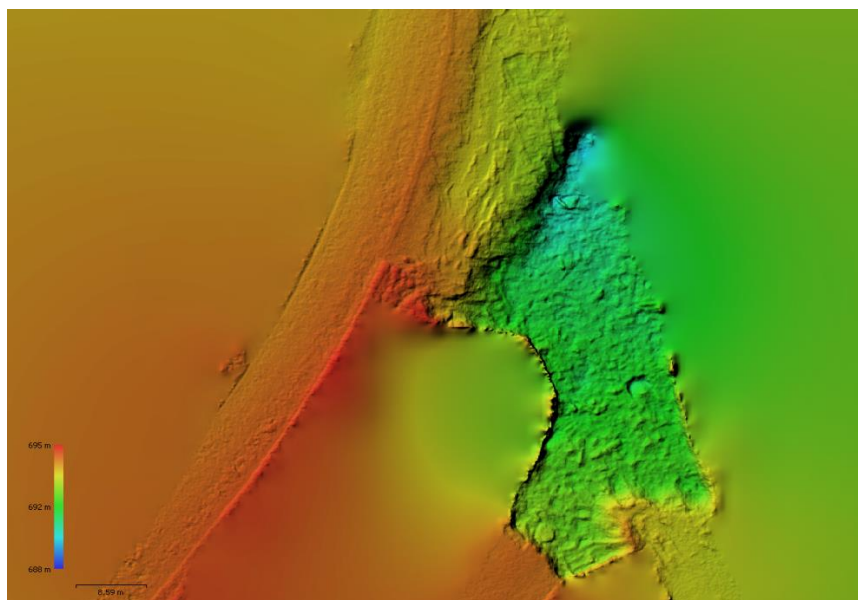
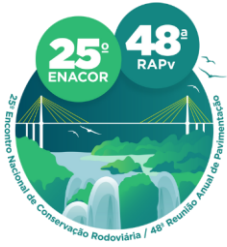


Figura 4. MDT do objeto de estudo (AUTOR, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Coleta de Dados com GNSS/RTK

Com o GNSS/RTK foram coletados 61 pontos para a caracterização do terreno no local que necessitava de terraplenagem, visando a cobertura do trecho aberto previamente. Para tal, foi utilizado um equipamento da marca Trimble, modelo R8S, tendo sua base posicionada em um ponto conhecido por levantamentos anteriores no local, o que resulta numa precisão maior desse ponto. Esse ponto conhecido é um marco implantado durante um levantamento para a confecção do projeto rodoviário.

Confecção das Superfícies

A partir dos pontos coletados com ambas as metodologias, com o uso do software Autodesk Civil 3D foram geradas duas superfícies TIN, usadas em projetos de terraplenagem que se distinguem apenas nas superfícies para obtenção dos resultados desejados. A superfície gerada através dos dados obtidos pelo RTK foi obtida através das triangulações geradas, já a superfície gerada pela aerofotogrametria por RPA foi disposta em contornos criados a cada 0,10 m (Figura 5). Neste mesmo software, foram obtidos os dados volumétricos para aterro, com a criação de um alinhamento de 88,25 m, que conecta a rodovia BR-164 à rodovia projetada, abrangendo a o trajeto que necessita de aterro. Em seguida, foi criado o perfil, corredor, seção tipo e seções transversais em cada estaca (Figura 6).

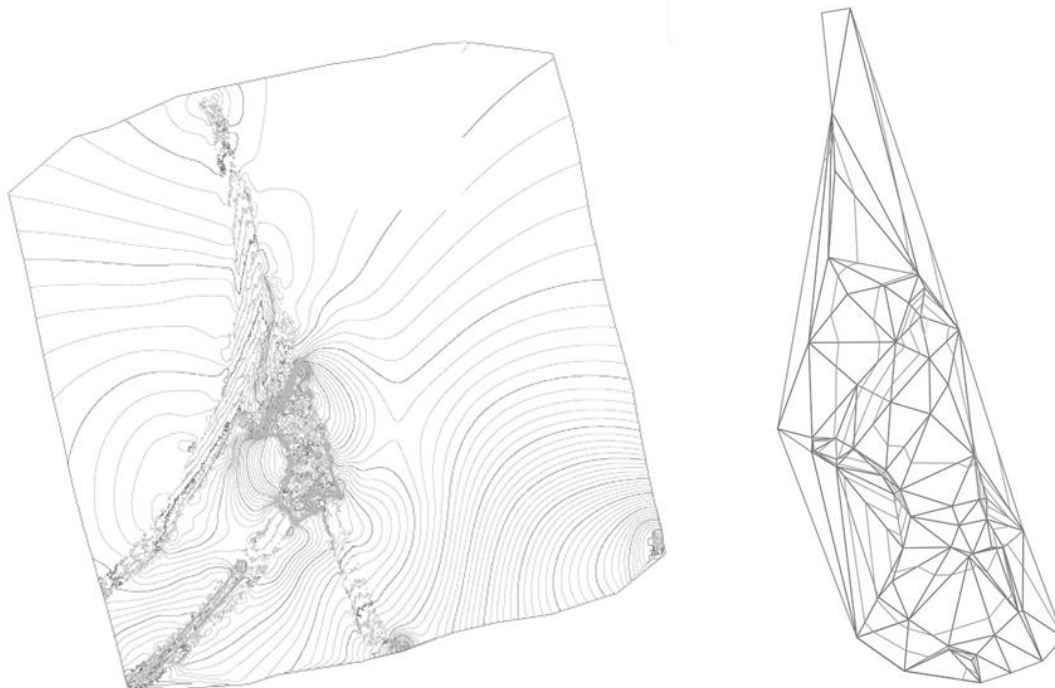
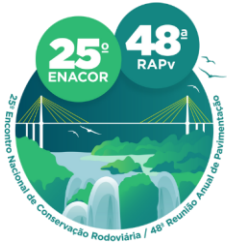


Figura 5. Superfícies geradas via coleta por RPA (à esquerda) e GNSS/RTK (à direita) (AUTOR, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br

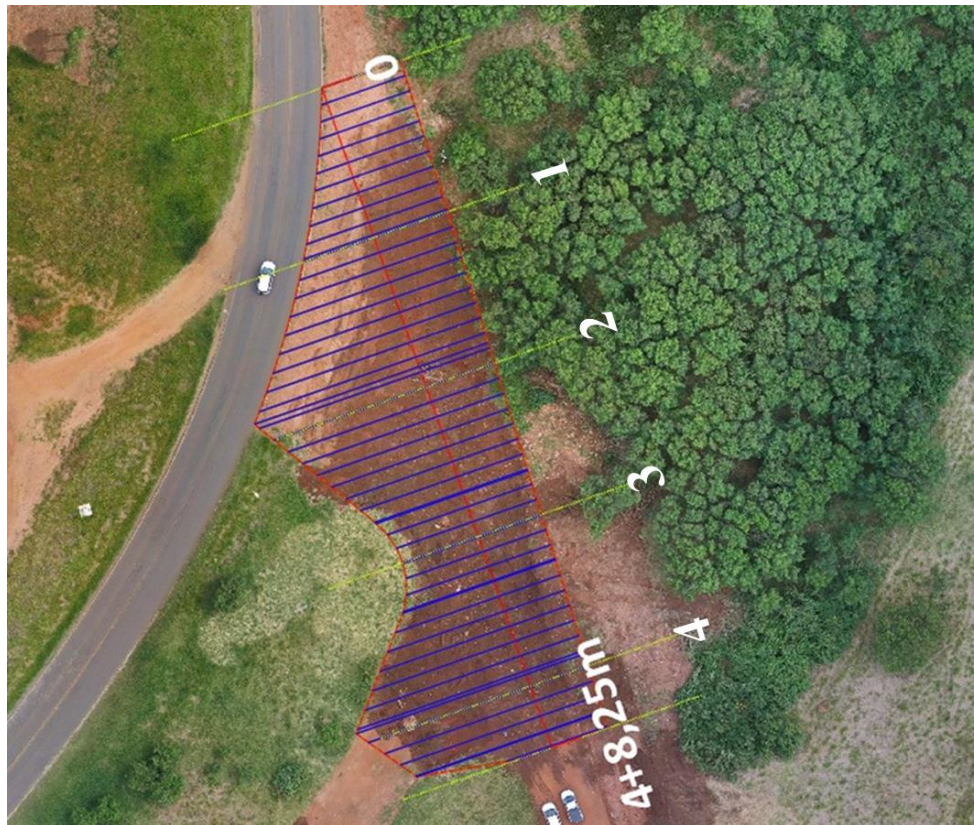


Figura 6. Alinhamento, Corredor e Seções Transversais criadas (AUTOR, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a superfície e o alinhamento projetado inseridos no Autodesk Civil 3D, foram obtidos o perfil do terreno para a superfície gerada por meio da Aerofotogrametria por RPA e para a superfície gerada pela topografia por RTK (Figura 7). Ainda, foi gerado um relatório pelo programa, contendo as informações do corredor e das seções transversais. Nesse relatório temos as informações de área de corte e aterro em cada estaca, e também o volume de corte e aterro entre elas, assim como o volume acumulado.

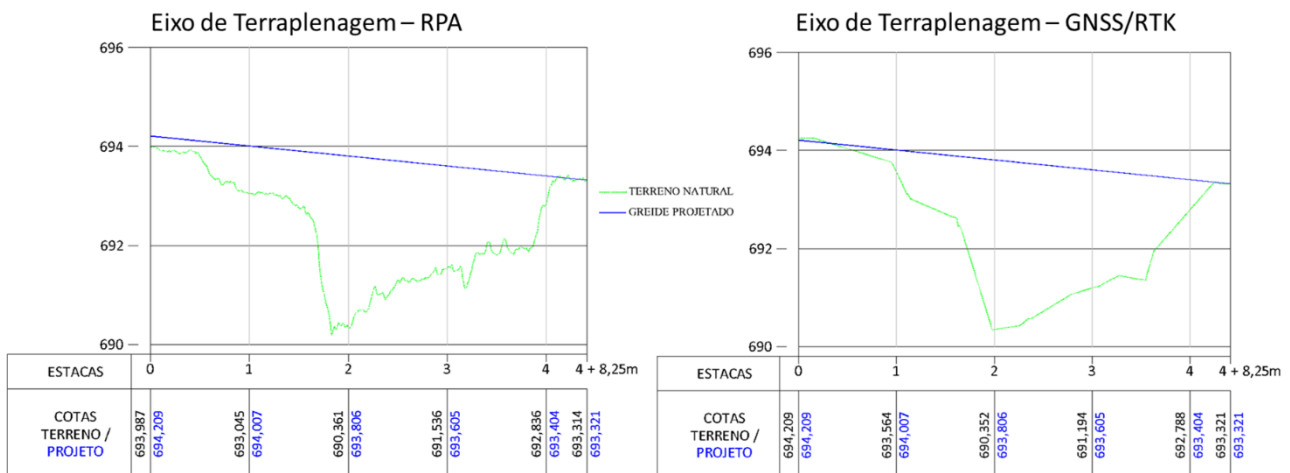
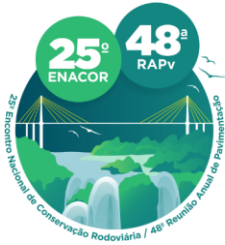


Figura 7. Perfil do Terreno obtido por meio da superfície gerada com dados provenientes da Aerofotogrametria por RPA (à esquerda) e por topografia GNSS/RTK (à direita).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A Tabela 1 mostra os volumes obtidos para o projeto de terraplenagem por meio do levantamento topográfico por GNSS/RTK e a Tabela 2 mostra os valores de volume obtidos para o projeto de terraplenagem por meio do levantamento aerofotogramétrico por RPA.

Tabela 1. Dados obtidos com uso da Topografia por RTK (AUTOR, 2023)

Estaca	Área de Corte (m ²)	Volume de Corte (m ³)	Área de Aterro (m ²)	Volume de Aterro (m ³)	Volume de Corte Acumulado (m ³)	Volume de Aterro Acumulado (m ³)
0	0,00	0,00	7,62	0,00	0,00	0,00
1	0,93	9,34	10,66	182,80	9,34	182,80
2	4,14	50,66	53,88	645,44	60,00	828,24
3	0,00	41,36	37,88	917,62	101,35	1745,86
4	2,09	20,90	11,50	493,79	122,26	2239,64
4+8.250	0,54	10,86	0,00	47,45	133,12	2287,09

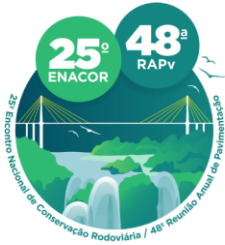
Tabela 2. Dados obtidos com uso da Aerofotogrametria por RPA (AUTOR, 2023)

Estaca	Área de Corte (m ²)	Volume de Corte (m ³)	Área de Aterro (m ²)	Volume de Aterro (m ³)	Volume de Corte Acumulado (m ³)	Volume de Aterro Acumulado (m ³)
0	0,00	0,00	7,65	0,00	0,00	0,00
1	0,39	3,89	13,46	211,10	3,89	211,10
2	3,43	38,24	48,80	622,56	42,13	833,66
3	0,00	34,35	37,87	866,66	76,47	1700,32
4	2,97	29,67	12,80	506,71	106,14	2207,03
4+8.250	0,37	13,77	0,00	52,81	119,91	2259,84

Obtidos os valores para as metodologias distintas, foi feito o cálculo das diferenças (em módulo) entre os valores obtidos com RTK e RPA para cada trecho entre as estacas tanto para o corte quanto para o aterro. Estes valores estão dispostos na Tabela 3, além disso foi calculada a média e o desvio padrão das diferenças encontradas.

Tabela 3. Dados volumétricos por trecho entre estacas (AUTOR, 2023)

Trecho	Volume de Corte (m ³)			Volume de Aterro (m ³)		
	GNSS RTK	RPA	Diferença	GNSS RTK	RPA	Diferença
E0 - E1	9,34	3,89	5,45	182,80	211,10	28,3
E0 - E2	60,00	42,13	17,87	828,24	833,66	5,42
E0 - E3	101,35	76,47	24,88	1745,86	1700,32	45,54
E0 - E4	122,26	106,14	16,12	2239,64	2207,03	32,61
E0 - E4 + 8,25m	133,12	119,91	13,21	2287,09	2259,84	27,25
E1 - E2	50,66	38,24	12,42	645,44	622,56	22,88
E1 - E3	92,01	72,58	19,43	1563,06	1489,22	73,84
E1 - E4	112,92	102,25	10,67	2056,84	1995,93	60,91



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

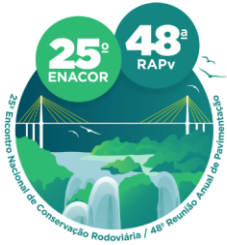


E1 - E4 + 8,25m	123,78	116,02	7,76	2104,29	2048,74	55,55
E2 - E3	41,35	34,34	7,01	917,62	866,66	50,96
E2 - E4	62,26	64,01	1,75	1411,4	1373,37	38,03
E2 - E4 + 8,25m	73,12	77,78	4,66	1458,85	1426,18	32,67
E3 - E4	20,91	29,67	8,76	493,78	506,71	12,93
E3 - E4 + 8,25m	31,77	43,44	11,67	541,23	559,52	18,29
E4 - E4 + 8,25m	10,86	13,77	2,91	47,45	52,81	5,36
		Média	10,97		Média	34,04
		Desvio Padrão	6,54		Desvio Padrão	20,26

Os trechos correspondem a todas as possíveis áreas de terraplenagem com base nas estacas, o intuito dessa relação foi encontrar a diferença obtida nos volumes para o uso da aerofotogrametria, quando comparada com a topografia por RTK. Para a terraplenagem, foi calculada a diferença dos volumes de corte e aterro para encontrar o volume total necessário. Esse volume total para o local de estudo foi de 2153,97 m³ de aterro para o levantamento por topografia com RTK e 2139,93 m³ de aterro para o levantamento por aerofotogrametria com RPA. Na Tabela 4 estão foram mostrados os valores de volume total (diferença entre o aterro e o corte) por trecho, a diferença (em módulo) entre os valores com RTK e RPA e essa diferença percentual.

Tabela 4. Dados volumétricos para terraplenagem do objeto de estudo (AUTOR, 2023)

Trecho	Volume de Aterro Necessário (m ³)			Diferença (%)
	GNSS RTK	RPA	Diferença	
E0 - E1	173,46	207,21	33,75	19,46
E0 - E2	768,24	791,53	23,29	3,03
E0 - E3	1644,51	1623,85	20,66	1,26
E0 - E4	2117,38	2100,89	16,49	0,78
E0 - E4 + 8,25m	2153,97	2139,93	14,04	0,65
E1 - E2	594,78	584,32	10,46	1,76
E1 - E3	1471,05	1416,64	54,41	3,70
E1 - E4	1943,92	1893,68	50,24	2,58
E1 - E4 + 8,25m	1980,51	1932,72	47,79	2,41
E2 - E3	876,27	832,32	43,95	5,02
E2 - E4	1349,14	1309,36	39,78	2,95
E2 - E4 + 8,25m	1385,73	1348,40	37,33	2,69
E3 - E4	472,87	477,04	4,17	0,88
E3 - E4 + 8,25m	509,46	516,08	6,62	1,30
E4 - E4 + 8,25m	36,59	39,04	2,45	6,70
		Média	27,03	3,68
		Desvio Padrão	17,87	4,67



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Com os dados obtidos, pode-se notar que a diferença do volume total entre as Estacas 0 + 0,00 m e 4 + 8,25 m é de 14,04 m³, para um volume total de 2153,97 m³ (0,65%), além disso, nota-se que no trecho entre as Estacas 0 + 0,00 m e 1 + 0,00 m é de 33,75 m³ entre as metodologias empregadas para obtenção, mas gerando uma diferença de 19,46%, sendo a única acima dos 10%.

Essa diferença de quase 20% está relacionada ao volume de corte obtido no trecho, que pode ter ocorrido durante a confecção do MDT, onde a vegetação do local acabou sendo desconsiderada na confecção do DEM.

Mesmo com esse valor atípico, a média da diferença dos volumes obtidos para os diferentes trechos (em módulo) foi de 3,68%, e todos os outros valores estando abaixo dos 10% de diferença, podemos considerar que o uso da RPA para o cálculo volumétrico estava no nível de confiança acima de 95% para o volume total desse projeto. Vale ressaltar que para o volume total, abrangendo uma área de estudo de 1950,65 m² a diferença do volume obtido pelas diferentes metodologias de obtenção dos dados do terreno esteve abaixo de 1% do volume total.

CONCLUSÃO

No presente trabalho foram apresentados dois métodos para estimar o volume de aterro, sendo por meio da técnica de fotogrametria com uso de aeronave remotamente pilotada (RPA) e técnicas de topografia por GNSS RTK.

Assim como os estudos de Alfonso-Torreño *et al.* (2019) e Da Silva *et al.* (2016), o método de levantamento topográfico por RPA apresentou acurácia expressiva para cálculos de volumes. Para Rodrigues (2020) o método de obtenção de dados por RPA, em seu estudo, obteve o Erro Padrão como um fator inversamente proporcional ao volume, ou seja, quanto maior o tamanho do objeto de estudo menor a probabilidade de erro.

Por fim, temos que o volume total calculado com as diferentes metodologias foi distinto em 0,65%. Além disso, a análise por trechos resultou em uma média de 3,68% de diferença entre os volumes obtidos pelas diferentes metodologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO-TORREÑO, A.; GÓMEZ-GUTIÉRREZ, A.; SCHNABEL, S.; JFRANCISCO, L. C.; BLASCO, J. J. DE S.; FERNÁNDEZ, M. S. 2019. **sUAS, SfM-MVS photogrammetry and a topographic algorithm method to quantify the volume of sediments retained in check-dams**. Science of the Total Environment, 2019. v. 678. p. 369 – 382. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719318741>. Acesso em: 15 abr. 2022.

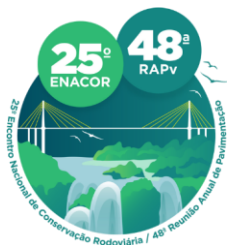
ARAÚJO, F. C.; MARCATO JUNIOR, J. **Análise Comparativa da Acurácia dos Produtos Cartográficos Gerados por Aeronave Remotamente Pilotada Segundo Diretrizes da PEC-PCD**, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2019.

BORGES, R. O.; FAZAN, A. J.; SOBRAL, L. T.; RIBEIRO, R. F.; LANZA, D. S. **Utilização de Drones de Pequeno Porte como Alternativa de Baixo Custo para Caracterização Topográfica da Infraestrutura de Transportes No Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Cartografia. XXVII, 2017, Rio de Janeiro.

CAMPOS, J. A. M.; MORAES, M. S.; CORTEZ, H. B.; SOUZA, J. F.; FRÓES, V. N.; **Uso de Drones para Auxílio de Levantamento Topográfico: Comparativo Entre Laser Scanner, Drone (Ortofoto) e Estação Total**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. XIX, 2019, Santos. **Anais [...]** Santos: INPE, 2019. p. 1675-1678.

DA SILVA, A. S.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. P. **Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR**. Bol. Ciênc. Geod., v. 22, no1, p.73 – 94. 2016.

RODRIGUES, B; T. **Topografia na Validação de Modelo de Terreno Obtido por Meio de Aeronave Remotamente Pilotada – RPA**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2020.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria**, 2000. Belo Horizonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Departamento de Cartografia, 2000. E-book. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.