Usando Drone + OpenDroneMap para efetuar um modelamento aéreo básico em 3D

Introdução

O objetivo desse tutorial é testar os conceitos básicos de um mapeamento 3D usando drone e processar as imagens com **OpenDroneMap**. O aplicativo usado para o planejamento e aquisição das fotos foi o **Pix4D Capture** por ser sem custo algum e sem restrição de uso. O **GoogleEarth** foi usado para registrar as coordenadas dos pontos de controle e aproximar a sua elevação. A definição das coordenadas de foto que correspondem aos pontos de controle foi feita usando **GIMP**. A visualização dos resultados pode ser feita com **CloudCompare**, **Paraview** e **QGIS**.

A questão da precisão do levantamento é abordada de forma simples e criativa com o intuito de melhorar a precisão do levantamento inicial por drone. O objetivo aqui é efetuar um levantamento o mais preciso possível usando o mínimo de equipamentos e dentro das possibilidades e necessidades de cada levantamento. Um levantamento de precisão horizontal e vertical da ordem de poucos centímetros só seria atingido com levantamento via GPS de precisão (RTK) dos pontos de controle na área. O levantamento RTK não foi efetuado, mas é abordado aqui nesse tutorial para aqueles que tem acesso a esse equipamento.

Drone

O Drone utilizado foi um modelo simples (DJI Mavic Air) que funciona com a maioria dos aplicativos de levantamento aéreo tais como Pix4D Capture, DroneDeploy etc.



Drone Mavic Air da DJI usado no levantamento

O Pix4D capture funciona com os seguintes drones pequenos da DJI: Phantom 4, Phantom 4 Pro, Phantom 4 Pro V2, Mavic Pro, Mavic 2 Pro, Mavic 2 Enterprise Dual, **Mavic Air**, Phantom 3 Professional, Phantom 3 Standard e Phantom 3 Advanced. Além dos drones maiores da DJI (linha Inspire e Matrice). Ele também funciona com os drones Anafi, Anafi termal, Anafi USA, bebop 2 Bluegrass e Disco-Pro AG (asa fixa) da Parrot.

Área levantada

A área levantada foi uma parte de um parque urbano em uma cidade de interior (Matupá-MT) que apresenta um lago, uma construção abandonada, um skate park, campo de futebol e quadra esportiva.



Vista oblíqua da área levantada

Pontos de Controle (Ground Control Points - GCP)

Conforme mencionamos na introdução, o que vamos fazer aqui é um exercício de como obter a melhor precisão possível no levantamento usando os meios que tivermos disponível. Essa correção é feita através de pontos de controle em solo para corrigir da melhor forma possível as distorções e os erros inerentes do GPS. Quanto mais preciso for o levantamento das coordenadas dos pontos de controle em solo (GCP) mais preciso será o modelo gerado.

Se nenhum ponto de controle for passado para o processamento a precisão horizontal será com erro do sistema GNSS usado que é algo em torno de 3 metros e a precisão vertical será muito baixa, quase nula, pois será considerada a elevação de voo como a cota 0 pois a leitura de elevação não é feita por nenhum sistema GNSS, mas por diferença barométrica (que é bastante acurada diga-se de passagem) entre ponto de decolagem e altura de voo.

A precisão vertical de qualquer sistema GNSS básico de frequência única (L1) é ruim, da ordem de dezenas de metros devido principalmente às partículas na ionosfera. A leitura de elevação nos pontos de controle não deve ser feita usando GPS simples (L1) mas sim com sistemas multifrequência RTK (L1/L2) que darão uma precisão vertical da ordem de poucos centímetros. Para receptores de frequência simples, a ionosfera é a maior fonte de erro.

Em algumas áreas é possível efetuar um procedimento que melhora a precisão do levantamento consideravelmente usando dados de imagens do Google Earth de alta precisão, mas com algumas limitações a serem consideradas. Faremos esse processo na área levantada.

Os pontos de controle devem ser:

- a) Entre 5 e 10 pontos espalhados pela área levantada;
- b) Em terreno o mais plano possível e longe de estruturas que possam obstruir a visão do ponto;

A marcação de pontos de controle é feita geralmente usando um painel marcador de onde se tira a medida usando um equipamento RTK que é também fotografado durante o voo. Em áreas urbanas podemos usar cantos de canteiros e estruturas como pontos de controle.



GCP usando marcadores ou cantos de estruturas preexistentes

Nesse tutorial não foi usado RTK e usamos marcadores naturais no terreno. Os cinco pontos de controle foram selecionados em junções e cantos de calçada no GoogleEarth e são mostrados abaixo:



Localização dos 5 GCP selecionados na área.

Agora iremos tomar nota das coordenadas dos cinco pontos de controle nessa imagem de alta resolução. Tomaremos preliminarmente nota da elevação nesses pontos de controle também pois nessas imagens Maxar temos uma precisão de 1 metro e tentamos da melhor forma interpolar o valor do ponto entre as mudanças de elevação para uma "melhor" precisão.

O Google Earth arredonda e move para a coordenada em metro mais próximo nessa imagem, então para termos um valor sub metro usamos do artificio de usar a propriedade (modo edição) do marcador do ponto de controle e posicionamos ele na exata posição e tomamos nota das coordenadas antes de aplicar a edição do marcador. Este processo é ilustrado abaixo.



A) Acessando a edição do ponto de controle; B) ao posicionar o marcador exatamente no ponto de controle podemos extrair as coordenadas de forma mais precisa.

Anote também o valor da elevação em cada ponto de controle. Usamos o valor de elevação fornecido pelo Google Earth (inteiro) e interpolado entre a mudança de elevação para estimar os centímetros. No processamento com o OpenDroneMap veremos como ajustar a resolução vertical indiretamente.

O valor da elevação pode ser extraído no canto inferior direito do Google Earth conforme imagem abaixo.



Valor de elevação a ser lido no ponto de controle.

Tome Nota dos pontos usando:

Ponto	Х	Υ	Z
GCP-01			
GCP-02	726789,19	8874543.68	278
GCP-03			

De posse das coordenadas dos 5 pontos de controle, seja usando um RTK ou pelo método mostrado acima avançamos agora para a execução do levantamento mostrado a seguir.

Aplicativo de coleta de fotos aéreas

O Pix4D Capture foi utilizado por ser gratuito e de fácil uso. Nesse tutorial foi usada a versão para IOS. Ao abrir o Aplicativo a seguinte tela é apresentada, pressione 'Settings' no canto superior esquerdo.



Selecione Drone para entrar com o modelo do drone a ser utilizado.

	Settings	Close
DRONE		
Drone		DJI Mavic Air 🗦
Camera		Mavic Air Camera >
GENERAL SETTINGS		
🚓 Мар		>
Units		Meter >

Selecione o Drone e feche a janela em 'Close'.



Ao voltar para a página inicial selecionaremos para esse tutorial a segunda opção (GRID). Não usamos nesse exemplo o DOUBLE GRID.



Um mapa será apresentado e será necessário agora colocar o grid sobre a área a ser levantada. Rotacione, dimensione e mova a área do grid para definir onde o levantamento será feito. Uma área pequena, com 175 por 120 foi selecionada e a altura de voo escolhida foi 60 metros que nos dará uma resolução de 2.17 centímetros por píxel.



Agora vamos selecionar a configuração do voo (settings) no canto superior direito para checar os parâmetros avançados antes de voarmos. O ângulo da câmera será vertical (90) a sobreposição frontal de 80% e lateral de 70%. Não estamos mapeando uma única estrutura a assim o olhar para centro será **No**. Usaremos o **Fast Mode** e velocidade **Normal+**. O balanço de branco fica em automático e nunca ignore ler o **homepoint** antes de decolar.

<		9	Settings				
	Nc	ormal		Advanced			
90	Angle of the camera		0° —			 g	0°
7////	Front overlap (i) 80%		20% 🗕			 \$	0%
	Side overlap (i) 70%		20%		-	g	0%
۲	☐ Look at grid's center] ^{No}	r		No		Yes	
¢		S	ettings				
	Picture trigger mode Fast mode	(i)	Sa	fe mode		Fast mode	
- 11	Drone speed Normal+		Slow 🛑			•	 Fast
WB	White balance Auto		Auto	D	Sunny	Cloud	у
£	Ignore homepoint In takeoff checklist	(j)		No		Yes	

Voltar para o mapa e uma vez conectado com o drone e com pelo menos 8 satélites fixados podemos iniciar o levantamento (não se esqueça de colocar os painéis dos GCP, se for usar algum marcador de solo e RTK). O Drone deverá efetuar o voo tirando as fotos e retornar ao ponto de decolagem ao terminar. Ao retornar o drone fará o upload das fotos para o aplicativo, mas nós usaremos as imagens dentro do drone. Uma boa prática é deixar o drone sem fotos armazenadas antes de fazer o voo para não misturar fotos de levantamentos distintos.

Extraindo as imagens do drone para o computador

Conecte o cabo USB-C no drone e abra a pasta **DCIM** na unidade usb no explorador de arquivo do windows ou Linux. As fotos do levantamento estarão nesta pasta. Copie estas fotos para o computador e as coloque numa nova pasta chamada **drone** e em uma subpasta **images C:users/usuário/drone/images/** no windows ou **/home/usuário/drone/images/** no Linux (lembrando que **usuário** deve ser substituído pelo nome real do usuário no computador).

Associando os GCP com as coordenadas das imagens coletadas

Usaremos o programa GIMP para criarmos o arquivo gcp_list.txt que será usado pelo OpenDroneMap na seção seguinte. O processo de geração deste arquivo é bem simples, mas requer bastante cuidado ao extrair as coordenadas de pixel das imagens. Essas coordenadas serão extraídas de todas as fotos onde um ou mais pontos de controle estão presentes.

O formato do arquivo gcp_list.txt é o seguinte:

```
<projection>
geo_x geo_y geo_z im_x im_y image_name [gcp_name]
...
```

Onde:

<projection> é o nome da projeção das coordenadas geográficas dos dados. Ela pode ser especificada usando qualquer valor válido de String PROJ (exemplos: +proj=utm +zone=10 +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs), código EPSG (exemplo: EPSG:4326) ou como um valor zona UTM no formato WGS84 UTM <zona>[N|S] (exemplo: WGS84 UTM 21S).

As colunas das linhas subsequentes representam as coordenadas X, Y e Z, o índice do pixel correspondente ao GCP na imagem (X e Y), o nome da imagem e opcionalmente o nome dado ao GCP pode ser incluído como o sétimo valor.

Valores de elevação podem ser definidos como **NaN** para indicar ausência de um valor.

O arquivo gcp_list.txt deve ser colocado no diretório raiz onde colocamos a pasta images. No nosso caso na pasta **drone**.



Entraremos os dados no arquivo abrindo as imagens com GIMP e posicionando o cursor sobre o GCP para lermos os índices X e Y da imagem. É necessário fazer isso para toda imagem que enquadra um ou mais pontos de controle. A Imagem abaixo mostra onde ler os índices no GIMP.



Figura ilustrando onde ler o índice da posição do pixel no cursor sobre o GCP no GIMP. A linha a ser entrada no arquivo gcp_list.txt seria algo do tipo: 726789.19 8874543.68 278 495 1677 DJI_0100.JPG GCP-02

Repita esse procedimento para todas as imagens e teremos no final um arquivo semelhante a: WGS84 UTM 21S 726904.12 8874539.78 280.30 697 356 DJI 0062.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 675 897 DJI 0063.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 651 1471 DJI 0064.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 627 1958 DJI 0065.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 2463 1151 DJI 0066.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 2386 1788 DJI 0067.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 2366 2342 DJI 0068.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 2349 2899 DJI 0069.JPG GCP-01 726904.12 8874539.78 280.30 2843 2004 DJI 0085.JPG GCP-01 726789.19 8874543.68 278.50 2634 99 DJI 0117.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 2566 1589 DJI 0111.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 2572 1066 DJI 0110.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 2581 490 DJI 0109.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 493 2761 DJI 0102.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 491 2209 DJI 0101.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 495 1677 DJI 0100.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 509 1136 DJI 0099.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 535 627 DJI 0098.JPG GCP-02 726789.19 8874543.68 278.50 578 77 DJI 0097.JPG GCP-02 726852.92 8874519.09 279.50 3410 2917 DJI 0103.JPG GCP-03

Vamos depois processar os dados obtidos para gerar nosso modelo 3D na melhor precisão vertical possível.

Usando a ferramenta OpenDroneMap

Faça o download da versão escolhida no seu sistema através da página do OpenDroneMap no gihub https://github.com/OpenDroneMap/ODM

Usaremos a versão nativa para o windows usando linha de comando acionada pelo programa ODM console instalado. Ver figura abaixo:

ODM Console		- 1		×
	useful if you have high precision GPS measurements. If there are no GCPs, this fla nothing. Default: False	g does		1
gps-accuracy <posit< td=""><td>ive float></td><td></td><td></td><td></td></posit<>	ive float>			
	Set a value in meters for the GPS Dilution of Precision (DOP) information for all your images are tagged with high precision GPS information (RTK), this value will automatically set accordingly. You can use this option to manually set it in case reconstruction fails. Lowering this option can sometimes help control bowling-effe large areas. Default: 10	images. be the cts ove	If r	
optimize-disk-space				
pc-rectify	Delete heavy intermediate files to optimize disk space usage. This affects the abi restart the pipeline from an intermediate stage, but allows datasets to be process machines that don't have sufficient disk space available. Default: False Perform ground rectification on the point cloud. This means that wrongly classifie points will be re-classified and gaps will be filled. Useful for generating DTMs.	lity to ed on d groun Default	d :	
pnimany hand (stnin	raise			
primary-band (Strin	When processing multispectral datasets, you can specify the name of the primary ba be used for reconstruction. It's recommended to choose a band which has sharp deta in focus. Default: auto	nd that ils and	will is	
skip-band-alignment				
	When processing multispectral datasets, ODM will automatically align the images for If the images have been postprocessed and are already aligned, use this option. De	r each fault:	band. False	
(venv) C:\ODM>				

Programa ODM Console

Ao iniciar o console uma lista de comandos e seus usos é apresentada, veremos alguns poucos destes aqui nesse tutorial. Para se aprofundar mais no ODM visite a página da documentação https://docs.opendronemap.org/.

Vamos efetuar três processamentos distintos nos dados. O primeiro sem o uso dos pontos de controle (GCP), o segundo usando os pontos de controle e por último veremos como melhorar a qualidade do modelo a ser gerado. O computador usado foi um Core i7 com 16GB RAM e SSD. O processamento levou entre 6 (primeiro processamento) e 40 minutos (terceiro processamento). Um total de 80 fotos foram tiradas nesse levantamento.

As estruturas de arquivos para o processo um será:

.../drone1 /images ... DJI_0056.JPG DJI_0057.JPG ...

E para os processos 2 e 3 será

```
.../drone2
/images
...
DJI_0056.JPG
DJI_0057.JPG
...
gcp_list.txt
```

```
.../drone3
    /images
    ...
    DJI_0056.JPG
    DJI_0057.JPG
    ...
    gcp_list.txt
```

Sem usar GCP

Esse processamento é o mais simples, mas também o menos preciso. A informação de elevação e baseada na altitude que o drone voa e esse plano é designado como elevação 0 gerando altitudes negativas no modelo. A precisão horizontal é a precisão do GNSS e é em torno de 3 metros.

Rodaremos o processamento usando o comando abaixo no console (lembre-se de ajustar o caminho de forma apropriada com o seu sistema).

run C:\Users**usuario**\drone1 --dtm --pc-las

O parâmetro --dtm gerará um DEM com base na topografia, o parâmetro --pc-las vai gerar nuvem de pontos no formato LAS que será aberta depois usando CloudCompare e Paraview.

Aguarde a finalização do processo.

Os seguintes arquivos serão gerados dentro da pasta **drone1** (originalmente só tínhamos a pasta **images**):

Nome	Data de modificação	Тіро	Tamanho
images	23/02/2022 15:00	Pasta de arquivos	
odm_dem	24/02/2022 12:14	Pasta de arquivos	
odm_filterpoints	23/02/2022 15:14	Pasta de arquivos	
odm_georeferencing	23/02/2022 15:18	Pasta de arquivos	
odm_meshing	23/02/2022 15:16	Pasta de arquivos	
dom_orthophoto	25/02/2022 07:17	Pasta de arquivos	
odm_report	23/02/2022 15:19	Pasta de arquivos	
odm_texturing	23/02/2022 15:17	Pasta de arquivos	
odm_texturing_25d	23/02/2022 15:18	Pasta de arquivos	
opensfm	23/02/2022 15:13	Pasta de arquivos	
📄 cameras.json	23/02/2022 15:13	Arquivo JSON	1 KB
images.json	23/02/2022 15:11	Arquivo JSON	71 KB
img_list.txt	23/02/2022 15:11	Documento de Te	2 KB
🗋 log.json	23/02/2022 15:19	Arquivo JSON	73 KB

Vários arquivos de dados e resultados foram gerados, mas nessa parte vamos focar no arquivo report.pdf que foi gerado e que está localizado na pasta odm_report.

ODM Qua	lity Report	Previews	Survey Data		
Dataset Summary Date Ava Coxend Processing Time Capture Stot	Proseeded 40:000 weeks 211 2000/2002 at 15:1312 0.01/17 km/ 7.0km 106 2000/2002 at 15:555 2000/2002 at 15:555		4	le constantino de la constanti	
Processing Summary				100 × 100 × 100	
Reconstructed Images Reconstructed Points (Sparse) Reconstructed Points (Dense) Average Ground Sampling Distance (GSD) Detected Faultures	76 over 80 shots (95.0%) 14895 over 15284 points (97.5%) 4,092,012 points 2.2 om 1,305 festures	Converter.	GPS/GCP/3D Error	2 3 8 4 8 5 s Details	*
Reconstructed Features	567 features				
Geographic Reference	GPS		GPS N X Error (maters) 0	16an Sigma 000 0.847	RMS Error
uro citto	Los Interes		Y Error (meters) 0.	000 1.450	1.450
175 meters -	1	AT CONTRACTOR	Z Error (meters) -4	0.000 0.248	0.248
1			Total		1.555
Burger S. H. a.	1 1 1 1	the second of the second	3D N	lean Sigma	RMS Error
			X Error (meters) 0.	020 0.037	0.042
6 1 2 3			Y Error (meters) 0.	017 0.024	0.029
87 -	Search States		Total		0.045
and the second sec	the state of the s		160 Automatica da la compañía de la comp	11-10-11-	
2 1	and the second second		Horizontal Accuracy CE90 (met	ers) 2.247	0.058
	a second second	Digital Terrain Model	Vertical Accuracy LESO (meters) 0.340	0.078
Mn Max. Detected 15 15.09	444 0 4 20 10 4 20 4 20 4 20 4 20 4 20 4	Tracks Details			
Reconstruction Details	ar) 0.23 / 0.80 / 0.50026	Length 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Count 7608 2666 1512 934 599 330 210 138 67			
Average Track Length	3.15 images	Camera Models Details			
Average Track Length (+ 2)	4.45 images	v2 dii fc2103 4056 3040 brown 0.6666			
		No. N2 N3 P1 P2 tocs associ_pellion cp ymms 0.0000<			
		Restar Nov			

O relatório acima é o seu guia para validar e checar os resultados obtidos e vamos explicar abaixo o que representa cada parte dele.

- Na primeira página temos um resumo dos dados usados tais como área coberta, data e horário que a primeira e última imagens foram obtidas, tempo de processamento, quantas imagens puderam ser reconstruídas, pontos reconstruídos no processamento, distância média de amostragem dos pontos (GSD), número médio de elementos detectados, número médio de elementos reconstruídos, qual foi o georreferenciamento usado, erro médio dos georreferenciamentos. Nesta página também temos um mapa que mostra o posicionamento e sequência das imagens que puderam ser reconstruídas (círculos redondos) e a posição inicial dessas imagens (triângulo vermelho). Esse mapa irá nos ajudar a melhorar a precisão no próximo processamento usando GCP.
- Na página seguinte temos o ortomosaico gerado e o modelo de elevação digital (DEM) criado, no nosso caso geramos um modelo topográfico (DTM).
- Na próxima página vemos a quantidade da sobreposição de imagens para cada pixel do ortomosaico. As áreas em verde são as áreas em que termos uma boa qualidade de informação no ortomosaico.
- A parte seguinte do relatório é de grande importância pois relata em detalhe os erros dos georreferenciamentos usados (GPS, GCP e do modelo 3D).
- O mapa seguinte diz respeito à câmera do drone, onde na câmera (em coordenada de pixels nas imagens) temos a maior incidência de elementos detectados. Temos também um quadro resumo com a estatística dos elementos detectados e reconstruídos por imagem.
- Na tabela e nos 3 gráficos seguintes vemos a estatística detalhada da reconstrução com os erros normalizados, de pixel e angular. O tamanho médio, em número de imagens com pontos correspondentes é também mostrado.
- Em seguida o número de pontos correspondentes entre images é apresentado no mapa a tabela que segue mostra o comprimento em número de imagens com a quantidade de pontos correspondentes.
- Por último temos os parâmetros focais da câmera do drone com base nas imagens obtidas e ortomosaico.

Veremos alguns resultados deste processamento na seção de análise e visualização dos resultados obtidos.

Usando GCP

Para executar o processamento usando o arquivo dos pontos de controle em solo use o seguinte comando:

```
run C:\Users\usuario\drone2 --gcp C:\Users\usuario\drone2\gcp_list.txt
--dtm --pc-las
```

Se os pontos de controle foram levantados com RTK esse passo já é o suficiente para termos o modelamento e ortorretificação que precisamos.

Vamos mostrar agora como usar os pontos de controle levantados sem o uso de um sistema GNSS de precisão, usando somente imagens de alta resolução no GoogleEarth.

O primeiro passo é analisar o report gerado para saber se os valores de elevação usados estão satisfatórios. Estamos assumindo que as coordenadas E e N estão corretas pois foram extraídas do GoogleEarth em uma imagem de alta resolução do tipo Maxar ou similar. No report também

poderemos avaliar os erros associados a cada ponto de controle pelo processamento e assim ajustar a elevação.

Faremos esse ajuste de elevação até termos uma melhor correlação entre o posicionamento e sequência das imagens que puderam ser reconstruídas e a posição inicial das imagens.

Com base no GoogleEarth extraímos os seguintes valores para o GCP:

WGS84 UTM 21S 726868.16 8874573.93 282.15 2395 2948 DJI 0088.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 2411 2329 DJI 0087.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 2378 1703 DJI 0086.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 622 1384 DJI 0085.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 642 902 DJI 0084.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 661 335 DJI 0083.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 240 2883 DJI 0108.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 231 2332 DJI 0107.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 194 1423 DJI 0106.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 2824 1416 DJI 0105.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 2837 908 DJI 0104.JPG GCP-0 726868.16 8874573.93 282.15 2041 370 DJI 0103.JPG GCP-0 726904.12 8874539.78 281.33 697 356 DJI_0062.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 675 897 DJI 0063.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 651 1471 DJI 0064.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 627 1958 DJI 0065.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2463 1151 DJI 0066.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2386 1788 DJI 0067.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2366 2342 DJI 0068.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2349 2899 DJI 0069.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2862 412 DJI 0082.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2860 960 DJI 0083.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2852 1531 DJI 0084.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 2843 2004 DJI 0085.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 314 759 DJI 0086.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 211 1728 DJI 0087.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 207 2324 DJI 0088.JPG GCP-1 726904.12 8874539.78 281.33 216 2878 DJI 0089.JPG GCP-1 726965.31 8874521.19 281.00 1760 1805 DJI 0046.JPG GCP-2 726965.31 8874521.19 281.00 1688 2504 DJI_0047.JPG GCP-2 726965.31 8874521.19 281.00 3534 256 DJI 0063.JPG GCP-2 726965.31 8874521.19 281.00 3528 825 DJI 0064.JPG GCP-2 726965.31 8874521.19 281.00 3509 1315 DJI 0065.JPG GCP-2 726789.60 8874543.69 278.66 2548 2785 DJI 0122.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2559 2256 DJI 0121.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2569 1697 DJI 0120.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2586 1177 DJI 0119.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2609 655 DJI 0118.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2634 99 DJI 0117.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2557 2648 DJI 0113.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2600 2106 DJI 0112.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2566 1589 DJI 0111.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2572 1066 DJI 0110.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 2581 490 DJI 0109.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 493 2761 DJI 0102.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 491 2209 DJI 0101.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 498 1676 DJI_0100.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 509 1136 DJI 0099.JPG GCP-3

726789.60 8874543.69 278.66 535 627 DJI 0098.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.66 578 77 DJI 0097.JPG GCP-3 726792.44 8874505.48 277.05 3649 1825 DJI 0094.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3646 2252 DJI_0095.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1642 766 DJI 0096.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1494 1460 DJI 0097.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1477 2007 DJI 0098.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1456 2516 DJI 0099.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1616 239 DJI 0111.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1611 756 DJI 0112.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1616 1271 DJI 0113.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1616 1815 DJI 0114.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1604 2255 DJI 0115.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3654 1104 DJI 0116.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3531 1512 DJI 0117.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3514 2052 DJI_0118.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3494 2557 DJI 0119.JPG GCP-4

Após executar vamos observar as duas partes do report. O mapa abaixo:

174 meters -



E a tabela de erro individual de cada GCP:

Ground Control Point Error

ID	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
GCP-0	-1.291	1.342	1.323
GCP-1	-0.260	-0.391	-1.162
GCP-2	0.023	0.144	0.227
GCP-3	-0.092	0.100	0.580
GCP-4	0.091	-0.123	-0.836

Observamos que no mapa a reconstrução (círculos azuis) não bate em todos os pontos com a posição inicial das imagens (triângulos vermelhos).

Não vamos alterar a posição horizontal dos GCP, mas vamos ajustar sequencialmente as elevações para obter um resultado que alinhe a posição das imagens e as imagens reconstruídas (triângulos vermelhos o mais coincidente possível com os círculos azuis). O resultado alcançado foi satisfatório (sub metro) para os GCP 3, 4 e 5 (2, 3, e 4 no report) e vamos alterar a elevação no ponto 1 e 2 (0 e 1) para observar se temos um melhor resultado.

Alteraremos a elevação do ponto 2 (GCP-1) para 280.60 extraindo 0,63 metros do valor original conforme mostrado na tabela de erros.

Obtivemos agora o seguinte resultado parcial:

Ground Control Point Error

ID	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
GCP-0	-1.269	1.301	1.308
GCP-1	-0.235	-0.353	-1.027
GCP-2	0.029	0.167	0.181
GCP-3	-0.092	0.092	0.761
GCP-4	0.081	-0.116	-1.083

Observamos uma pequena melhora o ponto 2 (GCP-1) e uma piora no ponto 5 (GCP-4). Dando prosseguimento, pode-se observar na área que o ponto 1 (GCP-0) está algo em torno de 0.4 metros acima do ponto 2 (GCP-1). Vamos então ajustar o valor do ponto 1 (GCP-0) para 281.00. O Resultado obtido foi:





E a tabela de erro dos GCPs:

Ground Control Point Error

ID	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
GCP-0	-1.284	1.333	1.415
GCP-1	-0.307	-0.439	-1.039
GCP-2	0.045	0.103	0.117
GCP-3	-0.071	0.112	0.286
GCP-4	0.074	-0.138	-0.649

Dessa forma pudemos convergir as imagens correlacionas com a posição inicial e obter uma melhor precisão Horizontal e vertical no modelo. Observe que os pontos 1 e 2 (GCP-0 e 1) possuem comparativamente um erro grande quando comparamos com os GCP. Isso é devido ao erro de GNSS processado no modelo que acaba dando uma grande diferença no erro vertical.

Abaixo segue o arquivo gcp_list.txt final usado:

```
WGS84 UTM 21S
726868.16 8874573.93 281.00 2395 2948 DJI 0088.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 2411 2329 DJI 0087.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 2378 1703 DJI 0086.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 622 1384 DJI 0085.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 642 902 DJI 0084.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 661 335 DJI 0083.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 240 2883 DJI 0108.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 231 2332 DJI_0107.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 194 1423 DJI 0106.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 2824 1416 DJI 0105.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 2837 908 DJI 0104.JPG GCP-0
726868.16 8874573.93 281.00 2041 370 DJI 0103.JPG GCP-0
726904.12 8874539.78 280.60 697 356 DJI 0062.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 675 897 DJI 0063.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 651 1471 DJI 0064.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 627 1958 DJI 0065.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2463 1151 DJI 0066.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2386 1788 DJI 0067.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2366 2342 DJI_0068.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2349 2899 DJI_0069.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2862 412 DJI_0082.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2860 960 DJI 0083.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2852 1531 DJI 0084.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 2843 2004 DJI 0085.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 314 759 DJI 0086.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 211 1728 DJI 0087.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 207 2324 DJI_0088.JPG GCP-1
726904.12 8874539.78 280.60 216 2878 DJI 0089.JPG GCP-1
726965.31 8874521.19 281.00 1760 1805 DJI_0046.JPG GCP-2
726965.31 8874521.19 281.00 1688 2504 DJI 0047.JPG GCP-2
726965.31 8874521.19 281.00 3534 256 DJI 0063.JPG GCP-2
726965.31 8874521.19 281.00 3528 825 DJI 0064.JPG GCP-2
726965.31 8874521.19 281.00 3509 1315 DJI 0065.JPG GCP-2
726789.60 8874543.69 278.60 2548 2785 DJI 0122.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2559 2256 DJI_0121.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2569 1697 DJI 0120.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2586 1177 DJI 0119.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2609 655 DJI 0118.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2634 99 DJI 0117.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2557 2648 DJI 0113.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2600 2106 DJI 0112.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2566 1589 DJI 0111.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2572 1066 DJI_0110.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 2581 490 DJI 0109.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 493 2761 DJI 0102.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 491 2209 DJI 0101.JPG GCP-3
726789.60 8874543.69 278.60 498 1676 DJI 0100.JPG GCP-3
```

726789.60 8874543.69 278.60 509 1136 DJI 0099.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.60 535 627 DJI 0098.JPG GCP-3 726789.60 8874543.69 278.60 578 77 DJI 0097.JPG GCP-3 726792.44 8874505.48 277.05 3649 1825 DJI 0094.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3646 2252 DJI 0095.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1642 766 DJI 0096.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1494 1460 DJI 0097.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1477 2007 DJI 0098.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1456 2516 DJI 0099.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1616 239 DJI 0111.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1611 756 DJI 0112.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1616 1271 DJI 0113.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1616 1815 DJI_0114.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 1604 2255 DJI 0115.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3654 1104 DJI 0116.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3531 1512 DJI 0117.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3514 2052 DJI_0118.JPG GCP-4 726792.44 8874505.48 277.05 3494 2557 DJI 0119.JPG GCP-4

NOTA: Isso é somente um artifício de como podemos fazer para melhorar a precisão sem ter a necessidade de usar GPS RTK. Dependendo das condições do terreno e da possibilidade de "amarrar" os GCP e da resolução da imagem GoogleEarth nem sempre poderemos chegar a uma convergência satisfatória.

Como melhorar o resultado

Nessa parte veremos como melhorar a qualidade do resultado em termos de resolução modificando alguns poucos parâmetros de processamento. Lembrando que esse processamento não irá melhorar a precisão dos pontos, mas irá adensar a nuvem de pontos e interpolar pontos na imagem do ortomosaico. Este procedimento é mais intenso com relação a memória e CPU e por isso aumenta consideravelmente o tempo de processamento (em torno de 5 a 10 vezes).

Use o comando a seguir para executar o processamento.

```
run C:\Users\usuario\drone3 --gcp C:\Users\usuario\drone3\gcp_list.txt
--dtm --mesh-size 600000 --dem-gapfill-steps 5 --mesh-octree-depth 12
--pc-quality ultra --pc-las
```

Os parâmetros alterados foram:

--mesh-size Número máximo de vértices na malha de saída. Default: 200000

--dem-gapfill-steps Número de passos para preencher os vazios da imagem. Modifique para 0 para desabilitar o preenchimento. O Preenchimento inicia com um raio igual a resolução de saída, N (valor do parâmetro) DEM diferentes serão gerados progressivamente com um raio maior usando inverso da distância ponderada (IDW) e posteriormente reunidas na imagem final. Os vazios restantes após esse pass0 são preenchidos usando interpolação de vizinho mais próximo. Default: 3

--mesh-octree-depth Octree depth define o grau de detalhamento da malha de superfície a ser gerada, aumentando o valor teremos um maior número de vértices detalhando a superfície gerada, recomenda-se usar valores entre 8 e 12. Default: 11



--pc-quality Define a qualidade da nuvem de pontos. Melhor qualidade gera uma nuvem de pontos melhor e mais densa, mas requer mais memória e gasta mais tempo para processar. Cada nível acima em qualidade aumenta o tempo de processamento em aproximadamente 4 vezes. Default: medium Opções: ultra | high | medium | low | lowest

Visualizando e analisando os resultados

Inicialmente vamos checar a imagem ortorretificada gerada sem usar os GCPs e usando GCPs para efeito de comparação. Use QGIS para abrir as imagens tif das ortofotos. QGIS pode ser baixado em https://qgis.org/en/site/forusers/download.html

Na figura abaixo mostramos a ortofoto gerada sem usar os GCP e destacamos as calçadas e ruas em um vetor digitalizado sobre a imagem



Imagem da ortofoto gerada sem o uso de GCP e algumas feições digitalizadas sobre ela.

Em seguida fazemos o mesmo com a imagem da ortofoto gerada usando GCP.



Imagem da ortofoto gerada com o uso de GCP e algumas feições digitalizadas sobre ela.

Podemos agora comparar as duas camadas de feições digitalizadas para averiguar se alguma diferença de posicionamento pode ser observada.



Comparação das duas camadas de feições digitalizadas



Detalhe da imagem anterior

Podemos observar um nítido deslocamento entre as imagens como era de se esperar. A imagem gerada com os GCP apresenta uma melhor precisão que pode ser constatada quando carregamos as feições no GoogleEarth de onde podemos observar o posicionamento preciso das imagens de alta resolução Maxar. Observe que temos uma correlação bem satisfatória.



Correlação entre imagem Maxar de alta resolução no GoogleEarth e feições extraídas da ortofoto que usou GCP

Vamos agora dar uma avaliada na nuvem de ponto gerada nesse modelamento aéreo 3D. Para isso usamos o CloudCompare que pode ser baixado em <u>http://www.danielgm.net/cc/release/</u> e o Paraview baixado em <u>https://www.paraview.org/download/</u>.

Abra diretamente o arquivo *odm_georeferenced_model.las* usando cloudCompare. Clique em 'Apply` na primeira tela e em 'Yes` na segunda tela.

C Open LAS File	? ×	C Global shift/scale	? ×
Standard fields E	xtended fields Tiling Info	Coordinates are too big (original precision may Do you wish to translate/rescale the enti shift/iscale information is stored and used to restore the original coo	r be lost)! ? ty? rdinates at export time
Time Number of returns Scan direction flag Gan angle rank Intensity	Synthetic flag Key-point Withheld Point source ID C Return number E Edge of flight line User data	Point in original coordinate system (on disk) Suggested Suggested x x = 726870.000000 y = 8874470.00000 + Shift -726800.00 € z = 275.000000 + Shift -0.00 € 0.00 € x Scale 1.0000000 € 1.0000000 € 1.0000000 €	Point in local coordinate system x = 70.00000 y = 70.00000 z = 275.00000
☑ Ignore fields with de □ Force 8-bit colors	Efault values only	Preserve global shift on save	Yes Yes to All No

Uma imagem semelhante a esta deverá aparecer:



Vamos agora exportar essa nuvem de pontos como um arquivo text (CSV). Selecione o objeto Cloud e em seguida File->Save. Selecione o formato ASCII Cloud e grave como Cloud2.csv.



Click em OK no diálogo seguinte:

C Save ASCII file		?	×
coordinates precision	6		•
scalar precision	6		\$
eparator	comma		-
order	[ASC] point, color, SF(s), normal		•
Header			
🗹 columns title			
number of point	s (separate line)		
Colors			
Save colors as f	loat values (0-1)		
Save alpha char	nel		
	-	OK Carr	ul.
		Cali	

Vamos agora mostrar como visualizar a nuvem de pontos com o Paraview. Inicie o programa a abra o arquivo Cloud2.csv criado acima, aguarde carregar. Uma vez carregado selecione o objeto e aplique o filtro `Table to Point`.



Adicione os campos \\X, Y e Z nos campos x, y e z. Feche a tabela a visualize a nuvem.



Para adicionar a cor, selecionamos o objeto TableToPoints e adiconamos o filtro calculator.



Adicionamos a seguinte formula (R*iHat + G*jHat + B*kHat)/255 para criar o campo Result com o vetor de cor. Em seguida selecionamos o campo Result conforme abaixo.

File Edit View Source: Filters Tools Catalyst Macros Help File Edit View Source: Filters Tools Solid Color B G G Result Coductors Properties Information Properties Prop	M ParaVie	w 5.8.1									
Properties Properties Pro	<u>F</u> ile <u>E</u> dit	⊻iew	Sources	Filters]	ools <u>C</u> at	alyst <u>M</u> acros	Help				
Solid Color Solid Color B G Projent Browser Colod 2 csv Table Tohonis 1 Properties Information Properties Information Properties Information Properties Information Properties Information Information Properties Information Informat		9	P 7		CI C	P 🔍 💞			Time: 0	0	ି ବ୍ ବ୍
Properties Properties <th></th> <th>2</th> <th>**</th> <th></th> <th></th> <th>Solid Color</th> <th></th> <th>* Surface</th> <th>•</th> <th>X * Q</th> <th>***</th>		2	**			Solid Color		* Surface	•	X * Q	***
Projerties Information Properties Information Information Information Properties Information Information Information Properties Information Information Information Properties Information Information Information Information Information Properties Information Information Information				1		G	R.	Se 📝 Si 🕏	1		
Result Oud2.cv Coddulary Coddulary Properties Information Properties P	Pipeline Brov	vser	v v			R	lavout	*19			
Image: Section of the section of t	bu	uiltin:				Result	a i	5 3D 🔍 🖗 🛏		★ 10 × 10	1
Properties Properties Information Properties Pr	E C	oud2.csv				Z	14 2				3.3 5 145
Properties Information Properties Information Properties I Belet Properties I Belet Properties (Calculator1) Properties (alculator 1									
Properties Information Properties Information Properties I Belle Properties I Belle Properties (Calculator1) Properties (
ef Acoly @reset # Delete ? Properties (Calculator1) ? Properties (Calculator1) ? Print Data Coordnate Result Result Array Name Result Array Nar	Properties Properties	Inform	nation			ଶ୍					
Search (use Esc to clear text) Properties (Calculator1) Attribute Type Point Data Coordnate Result Result Normals Result Normals Result Array Name Result array Name <	eff Ann	a î a	O Darrah		elete	2					
Seal Un (Mee Ex. ID Seal Ex. II) Properties (Calculator1) Attribute Type Point Data Coordnate Result Result Normals Result Normals Result Array Name Result Coords Result Array Name Result Coords Result Array Name Result Coords Result Array Name Result Coords Result Array Name	Canada	lana Esanda	o reserve		ciete	1					
Properties (Calculator1) Point Data Coordnate Results Result Normals Result Toords Result Toords Result array Name Result (R*Hat +6*Hiat + 8*Hiat)/255 Clear () Hiat Hiat Sin cos tan abs syrt + asin acos tan cel floor - sinh cosh tanh x-y exp = v1.v2 mag norm h log10 /	Search	(use esc to	o clear text,	. 10							
Ardboller lybe Point Data Condinate Results Result Normals Result Toords Result Toords Result Array Name Result (R*Hat +6*Hiat +8*Hiat)/255 Clear () iHat Hiat kHiat sin cos tan abs syrt + asin acos tan cei fioor - sinh cosh tanh x-Y exp * v1.v2 mag norm in log10 /	Prop	perties (C	alculator	1)	8						
Coordnate Results Result Normals Result Coords Result Array Name Result Array Name (R*Hiat + 6*Hiat)/255 Clear () in cos tan abs system ceii inh cosh inh cosh v1.v2 mag norm In log 10 /		ype	 Point Da 	ata		*					
Result Toords Result Coords (R"Hat + 6"Hat + 5"Hat 1/255 Clear () in cos tan asin cos inh cosh v1.v2 mag in log 10	Coordin	nate Result Normale	ts								
Result Array Name Result (R"Hat + 6"Hat + 6"Hat)/255 Clear (in cos tan abs sin cos cosh tanh cel floor sinh cosh tanh x/y v1.v2 mag norm In log10 /	Result	TCoords									
(R*#Hat + 6*#)Hat + 8*#Hat)/255 Clear () iHat yHat kHat sin cos tan abs sgrt + asin acos tan cei floor - sinh cosh tanh x²/y exy * v1.v2 mag norm In log 10 /	Result Arra	y Name R	lesult								
Clear () iHat jHat kHat sin cos tan abs sgrt + asin acos atan cel floor - sinh cosh tanh x-y exp * v1.v2 mag norm In log10 /	(R*iHat +	G*iHat + E	3*kHat)/255	5							
sin cos tan abs sgrt + asin accs atan ceil floor - sinh cosh tanh x^vy exp # v1.v2 mag norm h log10 /	Clear	()	iHat	jHat	kHat					
asin acos atan cei floor - sinh cosh tanh x^y exp * v1.v2 mag norm ln log10 /	sin	cos	tan	abs	sqrt	+					
sinh cosh tanh x^y exp * ∨1.v2 mag norm In log10 / //	asin	acos	atan	ceil	floor	<u> </u>					
v1.v2 mag norm in log10 /	sinh	cosh	tanh	x^y	exp		_				
	v1.v2	mag	norm	In	log10		_	Y			

Agora é só desmarcar 'Map Scalars' e teremos a nuvem de pontos em cores reais.





Visualização da nuvem de pontos modelada usando Paraview



Detalhe da Nuvem de pontos

Usando estes dois aplicativos acima as possibilidades são várias. Podemos integrar os resultados em modelos já existentes, integrar com modelos de RV, etc.

Podemos concluir que é possível efetuar um levantamento e gerar uma nuvem de ponto de boa qualidade usando alguns modelos de drones comuns e sem ter que gastar um centavo em software para o processamento.

O uso de imagens de alta resolução para gerar GCP podem levar a precisões sub métricas sem a necessidade de ter um sistema GNSS de alta precisão do tipo RTK. Importante notar que para alguns tipos de levantamento teremos que ter essa precisão, mas para vários outros não.

Resumindo:

- a) Você não precisa de GCP em levantamentos que requerem somente uma precisão relativa alta entre os pontos, mas não necessariamente georreferenciados, tais como:
 - o Medição de comprimentos, área e volumes de objetos
 - Acompanhamento e gerenciamento de locais de construções
 - o Levantamento de plantações e florestas
 - Material para marketing-apresentações
- b) Um levantamento usando GCP com base em imagens de alta resolução no GoogleEarth atenderiam para os casos em que o grau de precisão da ordem de um metro atenderia, tais como os casos acima (a) e os dois casos descritos abaixo:
 - Monitoramento ambiental em geral
 - Sobreposição com plantas georreferenciadas e mapeamentos em geral
- c) Já nos casos em que a precisão absoluta e acurácia são necessárias o levantamento do GCP deve ser feito com sistemas GNSS RTK, tais como:
 - o Levantamento de títulos e escrituras de terrenos
 - o Levantamento de precisão em obras de engenharia
 - Quantificação de mudanças volumétricas entre duas datas distintas (cálculo de volumes extraídos)

André L. L. Costa

Fevereiro 2022