



ANÁLISE DA PRECISÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS OBTIDOS POR GNSS RTK E LASER SCANNER AÉREO NA UFPE-CAA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5124

Autores: PRISCILA INES DE CARVALHO CAMELO, SABRINA DE OLIVEIRA GOMES, SHIRLEY MINNELL FERREIRA DE OLIVEIRA, TALLYS CELSO MINEIRO

Resumo: A precisão das coordenadas geográficas é crucial para áreas como engenharia civil, arquitetura, topografia e agricultura, onde diversas tecnologias são aplicadas para sua obtenção, cada qual com peculiaridades em termos de especificações técnicas, vantagens e desvantagens. Este estudo visa comparar as coordenadas planialtimétricas obtidas pelo GNSS RTK (Sistema de Navegação por Satélite Global - Real Time Kinematic) e pela tecnologia LIDAR (Light Detection and Ranging), utilizando o laser scanner Alpha Air 450. A pesquisa foi desenvolvida no Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em Caruaru-PE. Inicialmente, foi realizado um levantamento com o GNSS i50, fixado em um ponto por aproximadamente 3 horas para alcançar precisão milimétrica. Simultaneamente, foram estabelecidos e registrados 19 pontos de checagem com o GNSS i73 para a posterior análise comparativa. O levantamento foi finalizado com o uso do laser scanner CHC Alpha Air 450 embarcado no Drone DJI Matrice 300 RTK. Os dados coletados foram processados através dos softwares CHCNav CoPre e RiSCAN PRO. Para avaliar as discrepâncias planialtimétricas e verificar se o levantamento estava de acordo com o padrão de acurácia posicional brasileiro do Decreto-lei 89.817/ET-ADGV, foram realizadas análises, através da média, variância, desvio padrão e RMS (Raiz do Quadrado Médio), concluindo que o laser scanner CHC Alpha Air 450 fornece uma precisão comparável ao GNSS, conforme os padrões brasileiros de acurácia posicional.

Palavras-chave: Laser Scanner, topografia, GNSS RTK, análise comparativa.

ANÁLISE DA PRECISÃO DE DADOS PLANIALTIMÉTRICOS OBTIDOS POR GNSS RTK E LASER SCANNER AÉREO NA UFPE-CAA

1 INTRODUÇÃO

A topografia, uma disciplina que evolui com o desenvolvimento tecnológico, tem suas origens na antiguidade com a utilização de técnicas rudimentares para medir terras e delimitar propriedades. Com o avanço dos anos, surgiram instrumentos cada vez mais precisos e sofisticados para a realização de medições topográficas, como o teodolito, o nível e a trena. A precisão na obtenção de coordenadas geográficas é crucial para diversas áreas, incluindo engenharia civil, arquitetura e cartografia. A popularização do GPS (Global Positioning System) na década de 1990 marcou uma evolução significativa nesse ramo, fornecendo uma ferramenta poderosa para a obtenção de coordenadas geográficas precisas. Conforme El-Rabbany (2019) destaca, o GPS revolucionou a maneira como as medições topográficas eram realizadas, melhorando a precisão e a velocidade na coleta de dados. Complementar ao GPS, o sistema GNSS RTK usa uma rede de estações de referência para corrigir as informações recebidas dos satélites e calcula as coordenadas em tempo real em ambientes abertos sem interferência de obstáculos. Li et al. (2020) indicam que o GNSS RTK é amplamente utilizado para coleta de dados de alta precisão em projetos de mapeamento e topografia.

Por outro lado, a tecnologia LIDAR é um sensor remoto ativo que emite feixes de laser na banda do infravermelho próximo (IV) e é capaz de capturar informações sobre a superfície, modelando-a tridimensionalmente (Singh et al., 2017). Essa tecnologia permite gerar uma nuvem densa de pontos onde é possível detectar objetos, permitindo a modelagem tridimensional da superfície e a geração de produtos como o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS) (Zhang et al., 2020). De acordo com Wang et al. (2021), o LIDAR é uma tecnologia que tem se mostrado cada vez mais eficiente para a coleta de dados de alta precisão em ambientes complexos, como florestas e áreas urbanas. Porém, o custo dos equipamentos e a necessidade de processamento pós-coleta podem ser fatores limitantes para a utilização da tecnologia em alguns projetos.

Diante da existência de duas tecnologias distintas para a obtenção de coordenadas geográficas precisas e dos estudos existentes sobre o tema, torna-se pertinente a realização de uma análise comparativa entre elas. Este trabalho tem como objetivo avaliar a precisão relativa das coordenadas planialtimétricas obtidas através do GNSS RTK e da tecnologia LIDAR, auxiliando na escolha da melhor tecnologia para aplicações específicas e permitindo um maior entendimento sobre o funcionamento e limitações de cada uma delas. O levantamento foi realizado na UFPE/CAA com o GNSS i50 e o laser scanner Alpha Air 450, comparando os resultados seguindo o Decreto Lei 89.817, que estabelece normas para a Cartografia Nacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na UFPE-CAA localizado em Caruaru, Pernambuco. A área escolhida foi selecionada com base em suas características topográficas, visto que

apresenta uma considerável variação de altitude, tornando-a adequada para a aplicação da metodologia. Adicionalmente, a área possui baixa incidência de obstáculos físicos e interferências ambientais, fatores que contribuem para a precisão e eficiência na coleta de dados. A Figura 1 ilustra a localização precisa da área de estudo e destaca os pontos de checagem que foram materializados para o levantamento.

Figura 1 – Área de estudo.



Fonte: (AUTORES, 2023).

2.2 Rastreio da base

O início do estudo envolveu a configuração do receptor GNSS modelo i50, que foi utilizado para rastrear as coordenadas do ponto de partida do levantamento, o qual foi materializado com tinta branca no piso, conforme ilustrado na Figura 2. O rastreio durou aproximadamente três horas, a fim de alcançar uma precisão planialtimétrica na ordem de milímetros. A técnica RTK empregada requer que o receptor de referência capture continuamente os sinais dos satélites durante um período que seja suficiente para calcular com precisão os erros sistemáticos e aleatórios, caso o rastreio não respeite essa recomendação mínima poderão ocorrer divergências de coordenadas. Esta metodologia não apenas proporciona uma solução mais precisa e estável, mas também minimiza potenciais interferências eletromagnéticas que poderiam comprometer a qualidade dos sinais e, conseqüentemente, a precisão das coordenadas obtidas.

Após a coleta dos dados foi realizada a correção das coordenadas utilizando o relatório de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE, apresentado na Figura 3. O PPP fornece detalhes cruciais sobre as correções orbitais aplicadas aos dados do GNSS para determinar coordenadas de posicionamento com alta precisão. Esta etapa é essencial, especialmente em locais carentes de estações de referência GNSS próximas, garantindo assim a integridade e a precisão dos dados coletados.

Figura 2 – Rastreo da base.



Fonte: (AUTORES, 2023).

Figura 3 – Relatório de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).


Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: 3487255

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS.SS	2023/02/27 14:56:34,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS.SS	2023/02/27 17:44:44,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHCI50 NONE
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	2,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	1,575
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	2,21 GPS 2,38 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,87 GPS 0,66 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E. a. que deve ser usada) ⁴	-8° 13' 35,8898"	-35° 58' 53,4512"	567,23	9089423.142	171480.382	-33
Na data do levantamento ⁵	-8° 13' 35,8812"	-35° 58' 53,4537"	567,23	9089423.406	171480.303	-33
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,004	0,011	0,014			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	-5,67	Incerteza (m): 0,08
Altitude Normal (m):	572,90	

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

Fonte: (IBGE, 2023).

2.3 Pontos de checagem

Conforme definido pela NBR 13133/2014, a realização de aerolevantamentos requer a instalação de pontos de controle geográfico para possibilitar a correção geométrica das imagens capturadas. A norma especifica que esses pontos devem ser distribuídos de forma uniforme por toda a área de estudo, a fim de assegurar uma cobertura abrangente e representativa do terreno investigado. Neste estudo, foram estabelecidos 19 pontos de checagem, marcados com tinta branca. As coordenadas desses pontos foram registradas utilizando o Receptor GNSS i73, operando em conjunto com o GNSS i50, que serviu como estação base. O receptor i73, atuando como Rover, foi empregado para capturar as coordenadas dos pontos marcados, com base nas informações transmitidas pela base i50, como ilustrado na Figura 4. Estes pontos foram fundamentais para a subsequente análise comparativa da precisão entre as diversas metodologias de levantamento empregadas no estudo.

Figura 4 – Cadastro dos pontos de checagem.



Fonte: (AUTORES, 2023).

2.4 Execução do voo para a coleta de dados LIDAR

Após o cadastro dos pontos de checagem, iniciou-se a montagem do Drone DJI Matrice 300, equipado com o laser scanner CHC Alpha Air 450. Este dispositivo é dotado de um scanner laser de alto desempenho, uma câmera profissional de 24 MP e um sistema de navegação industrial, capaz de efetuar escaneamentos precisos a uma altitude de voo de 100 metros e uma velocidade de 10 m/s, cobrindo uma área de aproximadamente 2 km² com uma densidade de 200 pontos por metro quadrado.

A primeira fase do processo envolveu o planejamento do voo utilizando o software UgCS, onde foram ajustas as configurações de sobreposição e altura de voo. Utilizaram-se dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) da NASA, lançado em fevereiro de 2000, para compensar variações no relevo do terreno e assegurar uniformidade nas faixas de escaneamento. O drone foi configurado para voar a uma altura de 40 metros acima do nível do solo com acompanhamento do terreno, garantindo uma altura de voo uniforme ao longo de toda região. A sobreposição lateral adotada foi de 70% e uma velocidade de 7 m/s. O drone e o laser foram previamente calibrados a fim de garantir a qualidade de

obtenção dos dados. A Figura 5 ilustra o plano de voo definido, enquanto a Figura 6 apresenta o equipamento montado, pronto para iniciar a missão pré-estabelecida.

Figura 5 – Plano de voo elaborado.



Fonte: (AUTORES, 2023).

Figura 6 – Laser Scanner AlphaAir 450 acoplado no Drone Matrice 300.



Fonte: (AUTORES, 2023).

2.5 Processamento dos dados LIDAR para obtenção da nuvem de pontos

Após a conclusão do voo, iniciou-se o processamento dos dados obtidos em campo utilizando softwares especializados. O software CHCNav CoPre foi empregado para realizar o registro da nuvem de pontos e seu georreferenciamento, via Pós-Processamento Cinemático (PPK), através dos dados descarregados do laser scanner, o qual havia sido equipado com uma antena RTK. Esse método permite que os dados coletados durante o voo sejam refinados para alcançar maior precisão. Segundo Ehsani et al. (2015), o PPK é

particularmente eficaz em ambientes com obstruções como edifícios e vegetação densa, pois melhora significativamente a precisão posicional. Chen et al. (2019) acrescentam que esta técnica é ideal para levantamentos de grandes áreas, permitindo a coleta de dados brutos em um arquivo único que pode ser processado posteriormente.

O arquivo hcn gerado pelo receptor GNSS i50 e as coordenadas corrigidas pelo PPP foram utilizadas como base para o PPK. O sistema geodésico adotado utiliza como referência elipsoide GRS 1980 para garantir alta precisão nos cálculos de coordenadas. A projeção utilizada para a área de estudo foi a UTM (Universal Transverse Mercator) ZONA 25S, cobrindo a região sudeste do Brasil, entre as longitudes 52,5 e 58,5 graus oeste de Greenwich.

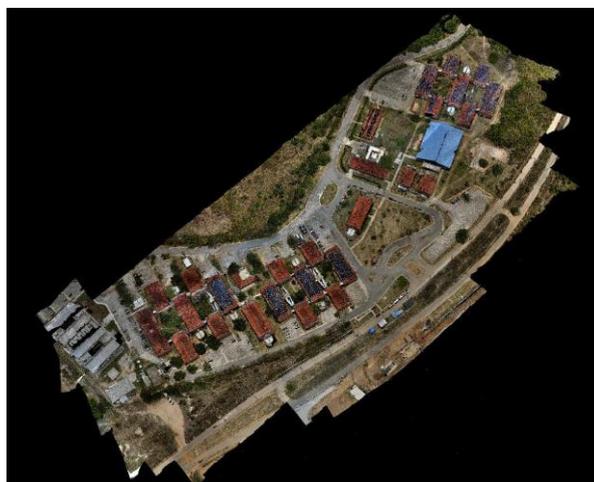
A etapa posterior seria a de análise da nuvem de pontos foi através do software RiSCAN PRO, onde foram realizadas etapas de filtragem, classificação e segmentação. Estes processos incluem o alinhamento da nuvem coletada em diferentes posições, a remoção de objetos móveis ou pontos flutuantes, identificação de elementos como edificações e vegetação na superfície escaneada. A nuvem de pontos processada pode ser utilizada em diversas aplicações, desde modelagem 3D de As-built, obtenção de dados topográficos até o monitoramento de deslocamentos estruturais. O processamento adequado dos dados LIDAR é crucial para garantir a precisão e a qualidade das informações, facilitando a extração de dados úteis para a geração de modelos digitais de superfície (MDS) e terreno, cálculo de volumes e identificação de características topográficas. Por fim, foi obtida uma nuvem de pontos georreferenciada contendo 73.045.434 pontos, com um espaçamento de 1,5 cm entre eles, visualizável nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Nuvem de pontos.



Fonte: (AUTORES, 2023).

Figura 8 – Nuvem de pontos.



Fonte: (AUTORES, 2023).

2.6 Identificação dos pontos de checagem na nuvem de pontos e análise das coordenadas

Os pontos de checagem foram identificados na nuvem de pontos no mesmo software empregado na análise, obtendo portanto as coordenadas da amostra proveniente do laser scanner. Em posse das coordenadas obtidas por ambos os métodos, foram realizadas análises para avaliar as discrepâncias planialtimétricas e verificar a conformidade do levantamento com o padrão de acurácia posicional brasileiro, definido pelo Decreto-lei nº 89.817 de 1984. Este padrão especifica tolerâncias baseadas no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro-Padrão (EP), variando de acordo com a escala dos dados e as classes A, B ou C. Em 2010, a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), um documento alinhado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) estabelecida pelo Decreto-lei nº 6.666 de 2008. Este documento introduziu uma classe mais restritiva para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD), detalhando como os dados devem atender ao padrão de acurácia posicional. De acordo com este padrão:

- Noventa por cento (90%) dos pontos coletados devem apresentar discrepâncias posicionais iguais ou inferiores ao valor da tolerância PEC para a escala e classe testadas.
- O RMS das discrepâncias posicionais deve ser igual ou inferior ao valor da tolerância EP para a escala e classe testadas.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos valores de PEC e EP definidos pelo padrão Decreto-lei 89.817/ET-ADGV, onde “eq.” significa equidistância da curva de nível e “esc.” significa escala.

Tabela 1 - Valores do PEC e EP.

CLASSE (PEC)	CLASSE (PEC-PCD)	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
		PEC (mm x esc)	EP (mm x esc)	PEC	EP
-	A	0,28	0,17	0,27 eq.	1/6 eq.
A	B	0,5	0,3	1/2 eq.	1/3 eq.
B	C	0,8	0,5	3/5 eq.	2/5 eq.
C	D	1	0,6	3/4 eq.	1/2 eq.

Fonte: (AUTORES, 2023).

A análise foi realizada através da obtenção da média, variância, desvio padrão e RMS. A equação de cada uma respectivamente pode ser visualizada abaixo. Os resultados numéricos e descritivos da análise estão apresentados na próxima seção. Todos os cálculos foram realizados no Microsoft Excel.

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} \quad (1)$$

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{(n - 1)} \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad (3)$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

Sendo:

\bar{x} = Média;

s^2 = Variância;

s = Desvio padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação dos dados planialtimétricos foi conduzida seguindo a metodologia descrita anteriormente, com uma análise inicial focada nas coordenadas planimétricas e, subsequentemente, nas altimétricas. Para clarificar a origem dos dados, adotaram-se algumas siglas: "NP" para denotar os pontos derivados da nuvem de pontos gerada pela tecnologia LIDAR, e "RTK" para indicar os valores obtidos através do GNSS RTK. A análise começou com a comparação das diferenças entre as coordenadas este e norte coletadas por ambas as técnicas. Os dados então apresentados nas Tabelas 2 e 3, facilitando a avaliação direta das discrepâncias entre os métodos em termos de precisão posicional.

Tabela 2 - Comparativo de dados planimétricos.

PONTOS	NORTE RTK (m)	ESTE RTK (m)	NORTE NP (m)	ESTE NP (m)	ΔN RTK - NP (m)	ΔE RTK - NP (m)
1	9089487,443	171420,560	9089487,443	171420,574	0,000	0,014
2	9089486,099	171404,579	9089486,143	171404,554	0,044	0,025
3	9089521,495	171395,599	9089521,507	171395,615	0,012	0,016
4	9089532,829	171368,408	9089532,831	171368,404	0,002	0,004
5	9089567,090	171350,851	9089567,097	171350,892	0,007	0,041
6	9089566,598	171330,133	9089566,668	171330,160	0,070	0,027
7	9089575,795	171295,273	9089575,763	171295,223	0,032	0,050
8	9089587,577	171271,806	9089587,623	171271,806	0,046	0,000
9	9089587,873	171241,732	9089587,892	171241,758	0,019	0,026
10	9089612,053	171227,818	9089612,056	171227,832	0,003	0,014
11	9089664,793	171217,250	9089664,784	171217,273	0,009	0,023
12	9089692,022	171234,041	9089692,056	171234,041	0,034	0,000
13	9089674,643	171261,524	9089674,663	171261,587	0,020	0,063
14	9089672,714	171299,588	9089672,773	171299,651	0,059	0,063
15	9089653,318	171309,876	9089653,347	171309,871	0,029	0,005
16	9089660,842	171371,056	9089660,841	171371,037	0,001	0,019
17	9089640,183	171403,981	9089640,237	171404,058	0,054	0,077
18	9089628,401	171432,161	9089628,397	171432,130	0,004	0,031
19	9089592,960	171467,316	9089593,022	171467,341	0,062	0,025

Fonte: (AUTORES, 2023).

Tabela 3 - Comparativo de dados altimétricos.

PONTOS	COTA RTK (m)	COTA NP (m)	$\Delta Z RTK - NP $ (m)
1	572,6714	572,656	0,0154
2	571,7984	571,776	0,0224
3	571,1174	571,1198	0,0024
4	569,3454	569,35	0,0046
5	567,6424	567,608	0,0344
6	566,6514	566,614	0,0374
7	564,8644	564,837	0,0274
8	564,2114	564,196	0,0154
9	563,5644	563,539	0,0254
10	563,7104	563,698	0,0124
11	564,8234	564,802	0,0214
12	565,7194	565,701	0,0184
13	565,9864	565,964	0,0224
14	566,4344	566,42	0,0144
15	565,8824	565,881	0,0014
16	567,9914	567,965	0,0264
17	569,7054	569,67	0,0354
18	570,8944	570,88	0,0144
19	573,4444	573,423	0,0214

Fonte: (AUTORES, 2023).

A análise das diferenças apresentadas nas Tabelas 2 e 3 revela que, em termos gerais, as variações nas medidas se mantiveram na ordem dos centímetros e milímetros, indicando que ambos os métodos apresentaram precisões similares e valores equivalentes. Os valores mínimos e máximos de desvio foram analisados separadamente para a planimetria e altimetria. Para os desvios planimétricos, foi encontrada uma diferença máxima de 7,7 cm, enquanto o maior desvio na altimetria foi de 3,74 cm. Portanto, para este caso, os desvios horizontais apresentaram valores maiores em comparação aos desvios verticais, o que pode sugerir que a precisão altimétrica foi superior à planimétrica. No entanto, para uma compreensão mais completa das discrepâncias, foi realizada uma análise estatística detalhada, incluindo cálculos de média, variância, desvio padrão e RMS. Esses indicadores oferecem uma visão mais abrangente sobre a consistência e a precisão dos métodos comparados, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Média, variância, desvio padrão, RMS e maior e menor valor das diferenças.

	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
Média	0.027	0.027	0.020
s	0.021	0.023	0.010
s²	0.0004	0.0005	0.000102
RMS	0.035	0.035	0.022
Maior valor	0.077	0.070	0.037
Menor valor	0.0004	1,86E-09	0.001

Fonte: (AUTORES, 2023).

A análise estatística das médias calculadas revela que as discrepâncias entre os métodos foram mínimas, apresentando médias de 2,7 cm na planimetria e 2 cm na altimetria, reforçando a similaridade na precisão entre os métodos. O desvio padrão, como esperado, foi similarmente baixo, de 2,1 cm para a coordenada leste, 2,3 cm para a coordenada norte e 1 cm para a cota. A variância registrada foi inferior a um milímetro para todas as coordenadas, já os valores de RMS foram de 3,5 cm para as coordenadas leste e norte, e de 2,2 cm para a cota. Esses resultados indicam que ambos os métodos são

capazes de fornecer dados de alta precisão. embora sujeitos a variações influenciadas por fatores como condições atmosféricas, qualidade e modelo dos equipamentos, e metodologias de coleta e processamento de dados. Apesar da alta precisão, houve pequenas diferenças entre os eixos, com a altimetria apresentando melhores resultados. A diferença média entre a altimetria e a planimetria foi de 0,7 cm, a qual pode ser atribuída a vários fatores, como uma menor variação na elevação do terreno nos locais de coleta.

Com base nos resultados encontrados, é possível atestar a confiabilidade da precisão do laser scanner aéreo em comparação com um receptor GNSS RTK na obtenção de dados posicionais. A consistência dos resultados obtidos sugere que ambas as tecnologias podem ser utilizadas de forma eficaz para levantamentos topográficos. Comparando os valores do RMS obtido com os valores previstos em norma, também é possível verificar que, segundo os padrões técnicos vigentes, este estudo seria categorizado como Classe A, na planimetria e altimetria, para uma escala de 1/1000 e uma equidistância entre curvas de nível de 1 metro, conforme estipulado pelo Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG. Isso valida a eficácia dos métodos utilizados e garante que os dados coletados atendem aos requisitos de precisão necessários para aplicações técnicas e científicas, além de confirmar que é possível utilizar o Alpha Air 450 sem o emprego de pontos de controle, otimizando os levantamentos topográficos, gerando dados de alta qualidade, particularmente valiosos para áreas de difícil acesso ou com vegetação densa.

Apesar das vantagens do laser scanner aéreo em termos de precisão e capacidade de coleta de dados, é importante destacar algumas desvantagens. O custo elevado dos equipamentos e a necessidade de processamento pós-coleta são pontos de relevância. Além disso, a operação deste tipo de equipamento requer uma equipe treinada e softwares específicos, o que aumenta os custos devido à necessidade de contratação de mão de obra especializada. Ainda na esfera custo, a locação de uma diária do GNSS RTK gira em torno de 300 reais no mercado, tendendo a ser mais acessível, enquanto o laser scanner aéreo não se encontra facilmente para locação, exigindo a contratação de uma prestadora de serviços para realizar o levantamento.

Em termos de eficiência, as diferenças também são significativas. O GNSS RTK é um método de coleta ponto a ponto, em contrapartida, o laser scanner aéreo consegue escanear uma área de 2 hectares em aproximadamente 30 minutos, gerando uma nuvem de pontos de alta densidade, proporcionando um detalhamento superior ao mapear toda a região. Portanto, a escolha da técnica mais adequada e com melhor custo-benefício será determinada pela necessidade e escopo do serviço. A decisão deve levar em consideração não apenas a precisão e aplicabilidade das tecnologias, mas também os recursos financeiros disponíveis e o tempo necessário para a execução dos levantamentos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo confirmam que o laser scanner CHC Alpha Air 450 oferece uma precisão posicional comparável à de um receptor GNSS tradicional. A implementação de tecnologias avançadas, como a empregada, otimiza significativamente o processo de levantamento topográfico. Este equipamento elimina a necessidade de pontos de controle e gera dados altamente precisos e confiáveis, mesmo em locais de difícil acesso ou áreas com densa vegetação. Tal eficiência aumenta de maneira significativa a produtividade em campo, além de permitir a execução de serviços que antigamente seriam impensáveis devido à falta de meios ou limitações dos métodos existentes. Além disso, a evolução tecnológica observada no campo da topografia tem alcançado melhorias notáveis na qualidade e confiabilidade dos dados coletados. Esses avanços contribuem substancialmente para a otimização dos procedimentos de levantamento e para o aumento

da eficiência operacional nos projetos. Em suma, a adoção de tecnologias inovadoras está transformando a prática da topografia, permitindo a execução de levantamentos mais rápidos, precisos e confiáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal: Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. Decreto nº 2.278, de 17 de julho de 1997. RAA - Regulamenta o Decreto-Lei nº 1177 de 21/06/1971 que dispõe sobre aerolevanteamento no território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Decreto-lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971. Dispõe sobre o aerolevanteamento em território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1971.

BRASIL. Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1967.

BRASIL. Decreto-lei nº 5.334, de 6 de janeiro de 2005. Da nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Decreto-lei nº 5.452, de 1 de maio de 1943. **Lex**: coletânea de legislação: edição federal, São Paulo, v. 7, 1943. Suplemento.

BRASIL. Decreto-lei nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Estabelece a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2008.

BRASIL. Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional quanto aos padrões de exatidão. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1984.

BRASIL. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Portaria nº 0637-SC-6/FA-61, de 05 de março de 1998. Aprova as Instruções Reguladoras de Aerolevanteamento em território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1998.

CHEN, R.; ZHAO, Y.; CHEN, Z.; ZHANG, H. An effective kinematic positioning method based on PPK for UAV. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL SCIENCE AND ITS APPLICATIONS, 19., 2019, Saint Petersburg. **Anais...** Cham: Springer, 2019. p. 283-296.

EHSANI, A. H.; OMIDALIZARANDI, M.; SABETGHADAM, S. Study on positioning accuracy enhancement of low-cost GNSS receivers using RTK and PPK methods. **Measurement**, n. 65, p. 32-40, 2015.

EL-RABBANY, A. **Introduction to GPS: the global positioning system**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.

FERREIRA, I. O. **Controle de qualidade em levantamentos hidrográficos**. 2018. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

LI, B.; SHEN, Y.; FENG, Y.; GAO, W.; YANG, L. GNSS ambiguity resolution with controllable failure rate for long baseline network RTK. **Journal of Geodesy**, v. 88, n. 2, p. 99-112, 2020.

OLIVEIRA, P. H. S. M.; ALBARICI, F. L.; OLIVEIRA, H. C.; RIBEIRO, L. H. R. Análise da integração de nuvens de pontos obtidas por varredura LASER terrestre estática e varredura de luz estruturada cinemática. **Revista Brasileira de Geomática**, vol. 9, p. 273-293, 2021.

RIO DE JANEIRO, IBGE. RPR 1/2005: **Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2005.

SINGH, P.; SINGH, P.; SINGH, A. Application of LiDAR for Digital Elevation Models (DEMs) generation and its accuracy assessment over different landform types. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, 2017.

WANG, D.; LIANG, Z.; LV, H.; HOU, Y.; WU, J. Asynchronous RTK precise DGNS positioning method for deriving a low-latency high-rate output. **Journal of Geodesy**, v. 89, n. 7, p. 641-653, 2021.

ZHANG, J.; SHAKER, A.; YANG, Y.; LI, B.; LI, X. Applications of LiDAR technology in civil engineering. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, n.7, p. 747-755, 2020.

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF PLANIALTIMETRIC DATA OBTAINED BY GNSS RTK AND AIRBORNE LASER SCANNER AT UFPE-CAA

Abstract: *The accuracy of geographical coordinates is crucial for areas such as civil engineering, architecture, topography, and agriculture, where various technologies are applied to obtain them, each with peculiarities in terms of technical specifications, advantages, and disadvantages. This study aims to compare the planialtimetric coordinates obtained by GNSS RTK (Global Navigation Satellite System - Real Time Kinematic) and LIDAR technology (Light Detection and Ranging), using the Alpha Air 450 laser scanner. The research was conducted at the Academic Center of Agreste (CAA) of the Federal University of Pernambuco (UFPE) in Caruaru-PE. Initially, a survey was conducted with the GNSS i50, fixed at a point for approximately 3 hours to achieve millimetric precision. Simultaneously, 19 check points were established and registered with the GNSS i73 for later comparative analysis. The survey concluded with the use of the CHC Alpha Air 450 laser scanner mounted on the DJI Matrice 300 RTK Drone. The collected data were processed through CHCNav CoPre and RiSCAN PRO software. To assess the planialtimetric discrepancies and verify if the survey was in accordance with the Brazilian positional accuracy standard of Decree-law 89.817/ET-ADGV, analyses were performed using the mean, variance, standard deviation, and RMS (Root Mean Square), concluding that the CHC Alpha Air 450 laser scanner provides precision comparable to GNSS, in accordance with Brazilian standards of positional accuracy.*

Keywords: *Laser Scanner, topography, GNSS RTK, comparative analysis.*

