

Contratação de Produtos oriundos do Sistema Laser Scanner

Luana Sloboda ¹
Prof. Dr. Carlos Loch ²

¹ IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
80.035-010 – Curitiba – PR
luana@ippuc.org.br

² UFSC – Departamento de Engenharia Civil
88.040-900 – Florianópolis - SC
ecv1clo@ecv.ufsc.br

Resumo: O presente artigo é destinado aos interessados que tenham pouca ou nenhuma experiência na contratação de produtos gerados a partir da tecnologia LiDAR, também conhecida como Sistema Laser Scanner Aerotransportado – LSA. Serve como instrumento orientador a quem deseja obter produtos cartográficos como Modelos Digitais de Terreno – MDT, para confecção de curvas de nível com alta precisão e também na geração das ortofotocartas. Para explorar o máximo da tecnologia e obter o melhor do sistema LiDAR, têm-se que tomar alguns cuidados como: Elaborar um edital de licitação que venha atender as necessidades do cliente e Analisar com eficiência os dados recebido do LSA. O edital deve prever os produtos a serem entregues ao solicitante; por exemplo, uma prefeitura pensando no desenvolvimento e planejamento urbano do município, visa a obtenção de produtos cartográficos, que atenda os requisitos exigidos para projetos de atualização da base cartográfica, geração de ortofotocartas, mapeamento com restituição das ortofotos, de áreas de ocupação irregular, áreas urbanizadas e em processo de urbanização. Para isso serão apresentados alguns parâmetros e técnicas que permite elaborar o edital de licitação e testes para avaliar com eficiência a qualidade geométrica dos produtos cartográficos, obtidos através do Laser Scanner, focando-se em um estudo de caso.

Palavras chaves: Laser Scanner Aerotransportado, Edital de Licitação, Avaliação

Abstract: This article is intended to those who have little or no experience in the hiring of proceeds generated from the LiDAR technology, also known as Airborne Laser Scanner System - LSA. It serves as an advisor with whom you wish to obtain mapping products as Models of Digital Land - MDT, for preparation of curves with a high level of accuracy and also the generation of orthophotos. To explore the best of technology and get the best of LiDAR system, have to take some care as: Develop an edict that the bidding will meet the customer needs and efficiently analyze the data received from the LSA. The edict should provide the products to be delivered to the applicant, for example, a municipal thinking in urban planning and development of the municipality, is aimed at obtaining mapping products, which meets the requirements for projects to upgrade the base mapping, generation of ortofotocartas, mapping with a refund of orthophotos, areas of illegal occupation, urbanized areas and in the process of urbanization. To do so will be presented some technical parameters and establish the edict allowing the bidding and tests to evaluate the efficiency with geometric quality of cartographic products, obtained through the Laser Scanner, is focusing on a case study.

Keywords: Airborne Laser Scanner, Announcement of Bidding, Evaluation

1 INTRODUÇÃO

Para atuar sobre o mundo real e dele explorar as suas riquezas, o homem precisou se aperfeiçoar em tecnologias e conhecimentos que pudessem tratar as unidades ambientais, não somente do ponto de vista de suas origens e funções, mas também de suas localizações, formas distribuições, escalas e limites.

A Cartografia tem, entre outras, a função de representar a superfície terrestre de forma clara e precisa, possibilitando, através da linguagem cartográfica, a identificação das características geométricas, da natureza e de outras particularidades dos objetos e fenômenos observados naquela superfície.

Com o avanço das tecnologias para a aquisição, processamento, produção e atualização cartográfica, a execução dos mapeamentos, tende a minimizar os custos e a diminuir o tempo de execução. A rapidez em coletar, tratar e disponibilizar os dados coletados, hoje, é um fator crucial ao usuário, possibilitando, assim, antever os prováveis efeitos da ação antrópica ou da natureza sobre o meio ambiente. Cada vez mais, novas técnicas, têm contribuído para a construção, interpretação e análise de mapas precisos.

Essas técnicas se baseiam fundamentalmente em realizar o levantamento de campo para obter as coordenadas da superfície terrestre, através de fotografias aéreas, GPS (*Global Positioning System*), imagens orbitais obtidas por satélites, imagens aéreas obtidas por scanner ativo, tais como: laser scanner e radar.

O presente artigo, apresenta como elaborar um edital de licitação que venha atender as necessidades de projetos de atualização cartográfica, geração de ortofotocartas, mapeamento, restituição de áreas urbanizadas, de ocupação irregular, e áreas em processo de urbanização, visando o planejamento urbano de um município, focando-se em dados da tecnologia Laser Scanner Aerotransportado (LSA), bem como sua avaliação geométrica, utilizando-se o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, Teste de Tendência e de Precisão, a partir de um estudo de caso.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um roteiro com as especificações técnicas dos requisitos e procedimentos para a aquisição, tratamento, armazenamento e uso, de dados oriundos do levantamento do laser scanner Aerotransportado – LSA.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) Apresentar as especificações técnicas que visam a obtenção de produtos com o levantamento do LSA;
- b) Subsidiar empresas (privadas e estatais) e órgãos municipais, estaduais e federais na elaboração da especificação técnica para licitação de produtos advindo de dados laser scanner;
- c) Apresentar as especificações técnicas de um estudo de um caso;

3 EDITAL DE LICITAÇÃO – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Estas especificações técnicas visam a obtenção de um produto oriundo do levantamento LSA, que atenda os requisitos exigidos para projetos de engenharia onde se necessita produtos de cartografia como: Geração de modelos digitais, MDT ou MDE, de alta precisão e densidade; Geração de curvas de nível com intervalo a partir de 0,2m; Mapeamento com mono-restituição das ortoimagens de Intensidade e hipsometria, a partir da escala 1:2.000 até escalas menores; Cálculos de volumes, para os sistemas viários, corte/aterro; Cálculos de volumes, para áreas florestais; Modelagem de cidades em 3D; Redimensionamento e modelagem de linhas de transmissão; Mapeamento de áreas de enchente em meio urbano ou rural, entre outros.

Para realizar este tipo de serviço recomenda-se empresas que possuam Declaração de Habilitação Técnica (DHT) expedida pelo Ministério da Defesa, inscritos nas categorias “A” ou “B”. E este tipo de levantamento deverá atender as seguintes condições:

1. Altura de vôo entre 600m a 2.000m⁽¹⁾. A altura de vôo é definida conforme a precisão requerida para

o levantamento, por exemplo: para o um voo a 1.000m de altura a precisão é de 50cm⁽¹⁾ na planimetria e de 15cm⁽¹⁾ na altimetria, já para um voo a 2.000m a precisão é de 100cm⁽¹⁾ na planimetria e 25⁽¹⁾ cm na altimetria (OPTECH, 2002);

2. As condições de *Global Navigation Satellite System* – GNSS para realizar o levantamento LSA devem ser as seguintes: Número mínimo de satélites 5 e *Position Dilution of precision* – PDOP inferior a 4, para que as precisões acima citadas sejam atendidas (OPTECH, 2002);
3. Exigência do certificado de calibração do equipamento laser como no máximo 6 meses de execução para garantir as precisões acima citadas (OPTECH, 2002);
4. O ângulo de varredura é variável 0° a 40°⁽¹⁾, quanto mais aberto o ângulo for mais larga é a faixa do levantamento, ou seja, ver formula abaixo:

$$Largura\ da\ faixa = \left(tg \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right) \cdot Alt_{voo} \cdot 2$$

Formula da Largura da Faixa.

Sendo:

α = Ângulo de Varredura

Alt_{voo} = Altura de Voo

Porém, deve-se tomar alguns cuidados na determinação do ângulo de varredura, pois quando se utiliza um ângulo aberto 40° em áreas urbanas poderá haver oclusões de certas regiões, ou seja, áreas sem informações de dados. Para um levantamento realizado em cidades onde se tem edifícios alto aconselha-se utilizar um ângulo de varredura de até 20°. Ver formula aproximada para calculo de oclusão:

$$O_{média} = H_{médio} \times tg \left(\frac{\alpha}{2} \right) \times (1 - 2 \times SL)$$

Formula do calculo da Oclusão.

Sendo:

$O_{média}$ = Oclusão Média

α = Ângulo de Varredura

$H_{médio}$ = Altura Média do Edifícios

SL = Sobreposição Lateral em Decimal

- Voo a 1.000m com ângulo de varredura de 20°

Largura da Faixa = 352,70m

$O_{média}$ = 7,40m

α = 20°

$H_{médio}$ = 105,00m (Aproximadamente 35 andares)

SL = 30%, ou seja, 0,30

- Voo a 1.000m com ângulo de varredura de 40°

Largura da Faixa = 727,90m

$O_{média}$ = 15,30m

α = 40°

$H_{médio}$ = 105,00m (Aproximadamente 35 andares)

SL = 30%, ou seja, 0,30

5. Espaçamento entre os pontos de 0,5m até 1,5m⁽¹⁾ (OPTECH, 2002). O espaçamento entre os pontos irá determinar a densidade dos modelos digitais, este espaçamento é função da altura de

1 Equipamento OPTECH – Modelo *ALTM-2050*. Porém, hoje em dia existem equipamentos mais novo onde estes valores de precisão podem mudar, como por exemplo o modelo *ALTM-GEMINI* da mesma empresa, onde este tem precisão planimétrica de 1/5.500 x altitude de voo e precisão altimétrica de entre 5cm até 30cm (OPTECH, 2008).

vôo, da velocidade da aeronave, frequência do pulso laser e ângulo de abertura, ou seja, quanto menor a velocidade da aeronave, o ângulo de varredura e altura de vôo maior será a densidade de ponto no terreno. Ver tabela abaixo:

6.

Tabela 01 – Espaçamento entre os Pontos

Frequência do Pulso Laser	Altura de Vôo	Velocidade da Aeronave	Ângulo de Varredura	Espaçamento Entre os Pontos
50 kHz	1.000m	220km/h	20°	0,66m
50 kHz	1.000m	220km/h	40°	0,95m
50 kHz	2.000m	220km/h	20°	0,95m
50 kHz	2.000m	220km/h	40°	1,35m
100 kHz	1.000m	220km/h	20°	0,47m
100 kHz	1.000m	220km/h	40°	0,66m
100 kHz	2.000m	220km/h	20°	0,66m
100 kHz	2.000m	220km/h	40°	0,95m

7. Faixas contínuas de no máximo 100km. Como é um levantamento apoiado por GNSS aconselha-se a não realizar faixas muito longas pois a precisão do levantamento pode ficar comprometida, pois o PDOP pode variar entre o começo e o final das faixas;
8. Sobreposição Lateral entre 10% até 30%. Este valor irá mudar conforme a ondulação do terreno, caso se tenha um terreno plano pode-se adotar o valor de 10% para garantir a continuidade dos dados laser, em terrenos ondulados aconselha-se a usar o valor de 30%;
9. O sentido do levantamento LSA não é um fator importante para um projeto, aconselha-se a otimizar o sentido do levantamento de maneira a minimizar as horas de vôo, sem a necessidade de vôos Norte-Sul ou Leste-Oeste, já que o levantamento LSA é apoiado por GNSS e Sistema Inercial;
10. Pode-se admitir uma rotação do ângulo formado pelo eixo do sensor laser e a vertical do lugar deverá de no máximo 20° em cada uma das retomadas das faixas (OPTECH, 2002). Este cuidado deve-se ao fato de ser um levantamento apoiado por GNSS, pois uma rotação superior a este valor pode haver uma perda de sinal do GNSS e comprometer o resultado final do levantamento;
11. O número de bases de apoio GNSS para o levantamento LSA é definido em função da área de estudo e suas dimensões, a esta terá um raio de máximo de abrangência de 50 km, ou seja, a distância máxima entre a base GNSS e a aeronave, esta medida é para garantir a precisão no pós-processamento da trajetória da aeronave. O local de implantação da base deverá ter o mínimo de obstruções de sinal GNSS, uma vez que as observações GNSS requerem a intervisibilidade entre a estação e os satélites, já que os sinais transmitidos podem ser absorvidos, refletidos ou refratados por objetos próximos à antena ou entre a antena e o satélite, recomenda-se que o horizonte em torno da antena esteja desobstruído acima de 15°, o dados do GNSS devem ser observados no máximo a cada 1 segundo;
12. Pode ser realizado tanto de dia como a noite (pois não depende da luz do sol), porém em condições atmosféricas recomendáveis, ou seja, que não haja presença de bruma seca, poeiras, neblina, fumaça ou nuvem abaixo da linha de vôo (nuvens acima da linha de vôo não interferem no levantamento);
13. Pode-se admitir uma variação de mais ou menos 5% para a superposição lateral, devido a condições de vento e ou ondulação do terreno;
14. Cada faixa de vôo deverá ser iniciada a pelo menos 1km antes do início da área e finalizada a 1km após o término da área de levantamento;
15. A altura de vôo deverá assegurar a manutenção da precisão pretendida na área de levantamento, não podendo oscilar mais que 5% em relação à altura planejada;

3.1. PRODUTO DO LEVANTAMENTO LASER

Para um Levantamento LSA, pode ser adquiridos os seguintes produtos:

- Nuvem de pontos separado em primeiro e último pulso⁽¹⁾, aqui os dados LSA vem separados pelo tempo de retorno, pois para cada pulso LSA existem dois retornos. Para os equipamentos modernos estes podem chegar a quatro retornos.
- Modelo Digital de Elevação – MDE⁽¹⁾;
- Modelo Digital de Terreno – MDT⁽²⁾;
- Ortoimagem de Intensidade em GeoTIFF⁽²⁾;
- Ortoimagem de Hipsometria em GeoTIFF⁽²⁾;

4 ESTUDO DE UM CASO

O presente estudo de caso, visa disponibilizar o acesso às informações pertinentes ao Sistema Laser Scanner, apresentando o novo processo da tecnologia na aquisição, manipulação, armazenamento e representação de dados da superfície terrestre para confecção de produtos cartográficos de qualidade. Nesse estudo foram realizados testes adequados para servir de parâmetros para avaliação adequada de produtos oriundos do LSA, estabelecendo procedimentos capazes de classificá-las conforme o Decreto lei nº 89.817, de 20/07/1984 vigente no Brasil. O referido Decreto apresenta uma avaliação da qualidade do mapa no tocante a exatidão das informações cartográficas, criando o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, e uma classificação em Classe A, B e C.

Para este estudo foi realizado um levantamento LSA na região metropolitana de Curitiba/PR, com fins de mapeamento cartográfico na escala 1:5.000 e com curvas de 5 em 5 metros de uma área rural, tendo a seguinte especificação técnica: altura de voo a 2.000m, ângulo de varredura de 40°, velocidade da aeronave de 280km/h, espaçamento entre os pontos de 1,5m, frequência do pulso laser de 50 kHz e sobreposição lateral de 30%, além dos demais cuidados citados no tópico 3.

Após a aquisição foram realizados o processamento dos dados e a geração das imagens de intensidade e hipsometria, georreferenciadas no SGB e com projeção UTM. A partir das imagens ortogonais do sistema laser e da identificação das feições, procedeu-se vetorização planimétrica necessárias para confeccionar a base cartográfica, levando em consideração, às rodovias pavimentadas, não-pavimentadas, arruamentos e caminhos, as edificações (pontes, casas) e a hidrografia (lagos, tanque d'água, cursos d'água e rios). A vetorização das feições altimétricas foi concretizada de forma automática, utilizando o Modelo Digital do Terreno – MDT.

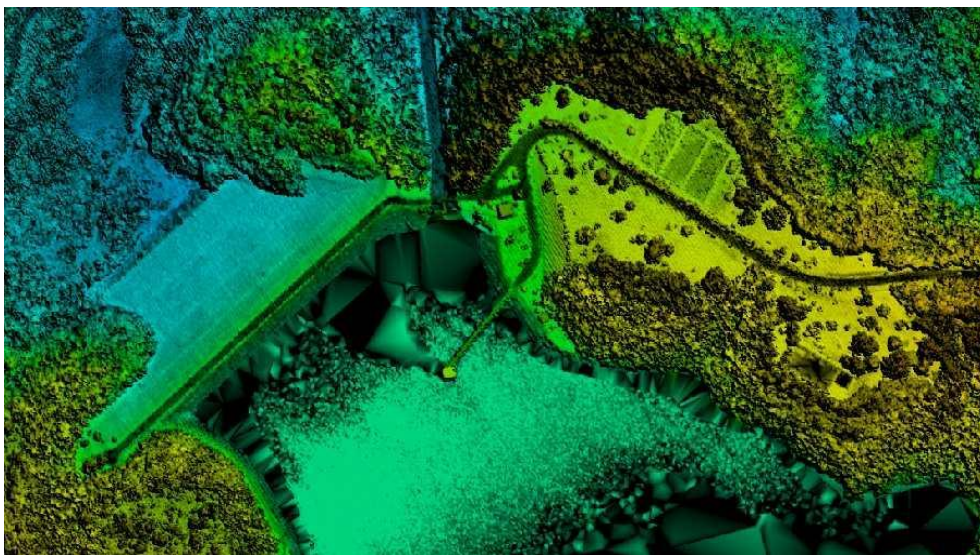
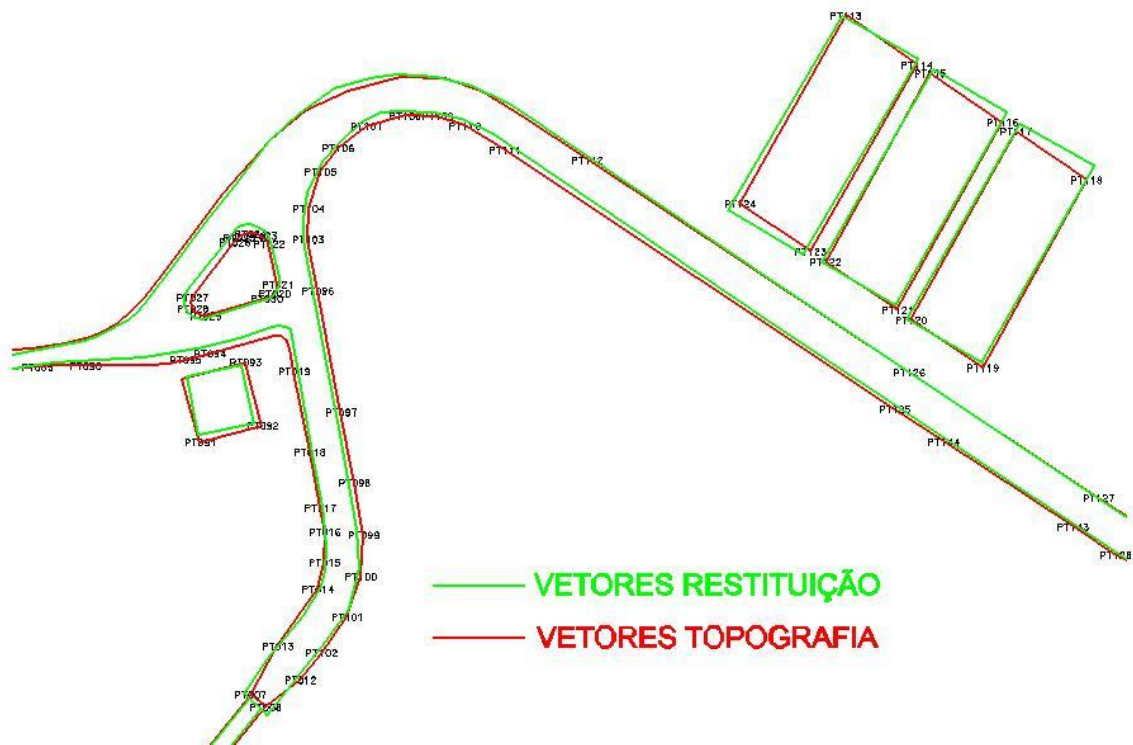


Imagem Ortogonal Hipsometria.

1 Maiores informações sobre estes produtos ver em **SLOBODA, 2005**.

Para validar os dados da base cartográfica, realizou um levantamento de campo com o GNSS em tempo real “*Real Time Kinematic – RTK*” com erro médio (desvio padrão) igual a 2,71 cm, este levantamento topográfico permitiu realizar uma comparação entre as coordenadas obtidas da base cartográfica (coordenadas gráficas) e as coordenadas levantadas em campo (GNSS). A diferença posicional entre coordenadas obtidas do mapa vetorial (extraído das imagens de hipsometria), originado dos dados do LSA estão representado na cor em verde, e aqueles obtidos do levantamento de campo estão representados em vermelho, como demonstrado na figura 02.



Comparação Levantamento GNSS com o Levantamento LSA

A última fase deste estudo foi analisar através de elementos estatísticos necessários a classificação da exatidão cartográfica do produto gerado. Nesta avaliação foi levada em conta à análise de tendência e a precisão da base cartográfica, sendo utilizadas como base para as análises de qualidade as fórmulas de MERCHANT, 1982. Os procedimentos foram adotados baseados nos testes de hipóteses sobre o erro médio das diferenças observadas ($\epsilon_{\Delta N}$, $\epsilon_{\Delta E}$, $\epsilon_{\Delta H}$), sobre o desvio padrão das diferenças observadas ($S_{\Delta N}$, $S_{\Delta E}$, $S_{\Delta H}$) e sobre o desvio padrão esperado ($\sigma_{\Delta N}$, $\sigma_{\Delta E}$, $\sigma_{\Delta H}$), sendo estes estipulados pelo decreto-lei n. 89.817, publicado no Diário Oficial da União em 20/06/84 (ver as tabelas 03 e 04).

Tabela 03 – Valores planimétricos do desvio padrão e PEC obtidos do decreto-lei 89.817

ESCALA	PLANIMETRIA (m)					
	CLASSE – A		CLASSE – B		CLASSE – C	
	$\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$	PEC	$\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$	PEC	$\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$	PEC
1/1.000	0,3	0,5	0,5	0,8	0,6	1,0
1/2.000	0,6	1,0	1,0	1,6	1,2	2,0
1/3.000	0,9	1,5	1,5	2,4	1,8	3,0
1/4.000	1,2	2,0	2,0	3,2	2,4	4,0
1/5.000	1,5	2,5	2,5	4,0	3,0	5,0
1/10.000	3,0	5,0	5,0	8,0	6,0	10,0
1/25.000	7,5	12,5	12,5	20,0	15,0	25,0
1/50.000	15,0	25,0	25,0	40,0	30,0	50,0
1/100.000	30,0	50,0	50,0	80,0	60,0	100,0

Tabela 04 – Valores altimétricos do desvio padrão e PEC obtidos do decreto-lei 89.817

EQUIDISTÂNCIA (m)	ALTIMETRIA (m)					
	CLASSE – A		CLASSE – B		CLASSE – C	
	$\sigma_{\Delta H}$	PEC	$\sigma_{\Delta H}$	PEC	$\sigma_{\Delta H}$	PEC
0,5	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
1,0	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,8
1,5	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	1,1
2,0	0,7	1,0	0,8	1,2	1,0	1,5
2,5	0,8	1,3	1,0	1,5	1,3	1,9
5,0	1,7	2,5	2,0	3,0	2,5	3,8
12,5	4,2	6,3	5,0	7,5	6,3	9,4
25,0	8,3	12,5	10,0	15,0	12,5	18,8
50,0	16,7	25,0	20,0	30,0	25,0	37,5

4.1. ANÁLISES DOS RESULTADOS

4.1.1. Teste de Tendência

Segundo SLOBODA, 2005 para hipótese H_0 o erro médio observado ($\epsilon_{\Delta N}$, $\epsilon_{\Delta E}$, $\epsilon_{\Delta H}$) é igual a zero, ou seja, não é tendencioso e para hipótese H_1 o erro médio observado ($\epsilon_{\Delta N}$, $\epsilon_{\Delta E}$, $\epsilon_{\Delta H}$) é diferente de zero, ou seja, é tendencioso.

$$\begin{aligned} H_0: \epsilon_{\Delta N} &= 0 & H_1: \epsilon_{\Delta N} &\neq 0 \\ H_0: \epsilon_{\Delta E} &= 0 & H_1: \epsilon_{\Delta E} &\neq 0 \\ H_0: \epsilon_{\Delta H} &= 0, \text{ contra} & H_1: \epsilon_{\Delta H} &\neq 0 \end{aligned}$$

Para realizar este teste, utilizou-se a distribuição t de Student, com um nível de confiança de 90% ($t_{0,9}$) e o número total de observações (n). Com a tabela da distribuição t de Student, localizou-se o valor limite t ($t_{100, 0,9}$) para a amostra observada, demonstrado na tabela 03.

Tabela 05 – Valores limite t para análise de tendência

	ΔN	ΔE	ΔH
Limite $t_{100, 0,9}$	1,2901	1,2901	1,2901

Observando o limite t na tabela 05, calculou-se a tendência para cada eixo observado (N, E, H) pelas formulas abaixo descritas:

$$t_N = \frac{\epsilon_{\Delta N}}{S_{\Delta N}} \cdot \sqrt{n} \quad t_E = \frac{\epsilon_{\Delta E}}{S_{\Delta E}} \cdot \sqrt{n} \quad t_H = \frac{\epsilon_{\Delta H}}{S_{\Delta H}} \cdot \sqrt{n}$$

Os valores resultantes do teste de tendência (tabela 06) foram comparados com o valor limite t (tabela 03) para definir se há tendência nos eixos, logo se t_N , t_E e t_H for menor que 1,2901 não existe tendência nos eixos, ou seja, a base cartográfica está livre de erros sistemáticos, caso contrário a base cartográfica está composta de erros sistemáticos.

Tabela 06 – Análise de tendência

	t_N	t_E	t_H
Valor t calculado	1,6315	4,0259	16,6223
Limite $t_{100, 0,9}$	1,2901	1,2901	1,2901
Tendência	SIM	SIM	SIM

4.1.2. Teste de Precisão

No teste de precisão, o teste de hipótese levou em conta o desvio padrão do decreto-lei 89.817 ($\sigma_{\Delta N}$, $\sigma_{\Delta E}$, $\sigma_{\Delta H}$), que pode ser visualizado nas tabelas 03 e 04, e o desvio padrão ($S_{\Delta N}$, $S_{\Delta E}$, $S_{\Delta H}$) das diferenças tabela 07.

Tabela 07 – Erro médio e desvio padrão observado das diferenças

	Diferenças		
	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)
Erro Médio (ϵ)	-0,118 3	0,2758	0,2970
Desvio Padrão (S)	0,7248	0,6850	0,1787

Para hipótese H_0 o desvio padrão calculado ($S_{\Delta N}$, $S_{\Delta E}$, $S_{\Delta H}$) é igual ao desvio padrão do decreto-lei ($\sigma_{\Delta N}$, $\sigma_{\Delta E}$, $\sigma_{\Delta H}$), ou seja, o mapeamento atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 e para hipótese H_1 o desvio padrão calculado ($S_{\Delta N}$, $S_{\Delta E}$, $S_{\Delta H}$) é diferente ao desvio padrão do decreto-lei ($\sigma_{\Delta N}$, $\sigma_{\Delta E}$, $\sigma_{\Delta H}$), ou seja, o mapeamento não atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817.

$$\begin{aligned} H_0: S_{\Delta N} &= \sigma_{\Delta N} & H_1: S_{\Delta N} &\neq \sigma_{\Delta N} \\ H_0: S_{\Delta E} &= \sigma_{\Delta E} & H_1: S_{\Delta E} &\neq \sigma_{\Delta E} \\ H_0: S_{\Delta H} &= \sigma_{\Delta H}, \text{ contra} & H_1: S_{\Delta H} &\neq \sigma_{\Delta H} \end{aligned}$$

Para realizar este teste, utilizou-se a distribuição CHI-Quadrado, com um nível de confiança ($\chi^2_{0,9}$) de 90% e o número total de observações (n). Com a tabela da distribuição CHI-Quadrado, localizou-se o valor limite ($\chi^2_{100,0,9}$) para a amostra observada, demonstrado na tabela 08.

Tabela 08 – Valores limite $\chi^2_{0,9}$ para análise de precisão

	ΔN	ΔE	ΔH
Limite $\chi^2_{100,0,9}$	118,4980	118,4980	118,4980

Com o limite $\chi^2_{100,0,9}$ definido, foi calculado a precisão do mapeamento nas diversas escalas e ainda para cada eixo observado (N, E, H) usando as formulas abaixo descritas:

$$\chi^2_N = (n - 1) \cdot \left(\frac{\sigma_N}{S_{\Delta N}} \right)^2 \quad \chi^2_E = (n - 1) \cdot \left(\frac{\sigma_E}{S_{\Delta E}} \right)^2 \quad \chi^2_H = (n - 1) \cdot \left(\frac{\sigma_H}{S_{\Delta H}} \right)^2$$

Os valores resultantes (tabela 08) foram comparados com o valor limite $\chi^2_{100,0,9}$ para definir se o mapeamento atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 para os eixos. Logo se χ^2_N , χ^2_E e χ^2_H for menor que 118,4980 o mapeamento atente a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 para a escala avaliada, caso contrário o mapeamento não atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 para a escala avaliada, ver tabelas 09 e 10.

Tabela 09 – Análise de Precisão (Planimétrico)

Classe A – Planimétrica			
ESCALA	PRECISÃO	χ^2_N (Norte)	χ^2_E (Este)
1:1.000	NÃO	1125,8686	1005,3839
1:2.000	NÃO	281,4671	251,3460
1:3.000	NÃO (1)	125,0965	111,7093
1:4.000	SIM	70,3668	62,8365
1:5.000	SIM	45,0347	40,2154
1:10.000	SIM	11,2587	10,0538
1:25.000	SIM	1,8014	1,6086
1:50.000	SIM	0,4503	0,4022
1:100.000	SIM	0,1126	0,1005

Tabela 10 – Análise de Precisão (Altimétrica)

Classe A – Altimétrica		
EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS	PRECISÃO	χ^2_H (Altitude)
0,50 m	NÃO	227,6206
1,00 m	SIM	56,9052
1,50 m	SIM	25,2912
2,00 m	SIM	14,2263
2,50 m	SIM	9,1048
5,00 m	SIM	2,2762
12,50 m	SIM	0,3642
25,00 m	SIM	0,0910
50,00 m	SIM	0,0228

4.1.3. Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Para classificar um mapeamento pelo PEC, Sloboda (2005), comparou os valores do PEC calculado, conforme tabela 13, com os valores do PEC estabelecidos pelo decreto-lei para cada escala, demonstrados na tabela 11 e 12.

Tabela 11 – Valor Limite do PEC (Planimetria)

Valor Limite do PEC – Planimetria			
ESCALA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
1:1.000	0,5	0,8	1,0
1:2.000	1,0	1,6	2,0
1:3.000	1,5	2,4	3,0
1:4.000	2,0	3,2	4,0
1:5.000	2,5	4,0	5,0
1:10.000	5,0	8,0	10,0

Tabela 12 – Valor Limite do PEC (Altimetria)

Valor Limite do PEC – ALTIMETRIA			
EQUIDISTÂNCIA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
0,50 m	0,3	0,4	0,5
1,00 m	0,5	0,6	0,8
1,50 m	0,8	0,9	1,1
2,00 m	1,1	1,2	1,5
2,50 m	1,3	1,5	1,9
5,00 m	2,5	3,0	3,8

1 O não atendimento da precisão para esta escala está relacionado exclusivamente ao eixo Norte que teve um valor CHI-Quadrado maior que o limite estabelecido.

Tabela 13 – Valor do PEC para os Dados do LSA
Valor do PEC Calculado para o Mapeamento

(ΔN) Norte	(ΔE) Este	(ΔH) Altitude
1,1923	1,1267	0,2939

Os valores resultantes da tabela 13 foram comparados com os valores limites das tabelas 11 e 12 para definir até que escala o mapeamento atende a precisão estabelecida pelo PEC para os eixos analisados. A análise do PEC está demonstrado na tabela 14 e 15.

Tabela 14 – Análise do PEC (Planimetria)

PEC – Planimetria			
ESCALA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
1:1.000	NÃO	NÃO	NÃO
1:2.000	NÃO	NÃO	SIM
1:3.000	NÃO	SIM	SIM
1:4.000	SIM	SIM	SIM
1:5.000	SIM	SIM	SIM
1:10.000	SIM	SIM	SIM
1:25.000	SIM	SIM	SIM
1:50.000	SIM	SIM	SIM
1:100.000	SIM	SIM	SIM

Tabela 15 – Análise do PEC (Altimetria)

PEC – ALTIMETRIA			
EQUIDISTÂNCIA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
0,50 m	SIM	SIM	SIM
1,00 m	SIM	SIM	SIM
1,50 m	SIM	SIM	SIM
2,00 m	SIM	SIM	SIM
2,50 m	SIM	SIM	SIM
5,00 m	SIM	SIM	SIM
12,50 m	SIM	SIM	SIM
25,00 m	SIM	SIM	SIM
50,00 m	SIM	SIM	SIM

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A autora considera, o presente artigo como um guia, apresentador de passos, a fim de orientar a evitar perda ou exageros na contratação de serviços de levantamentos cartográficos oriundos da tecnologia laser scanner, fundamentando-se num modelo de estudo onde se pode obter maiores detalhes na bibliografia Sloboda (2005).

Conforme a autora, as empresas que tenham interesse ou necessidades de contratação de produtos cartográficos do sistema laser scanner, podem se valer do estudo realizado e apresentado nesse artigo, porém se faz necessário que tenha o acompanhamento de um engenheiro ou técnico especializado em cartografia, para definir os produtos a serem adquiridos e aplicar os testes de validação no recebimento dos mesmos.

A maioria das empresas privadas ou estatais ainda investe pouco na tecnologia LiDAR, devida a falta de conhecimento da mesma e de padrões para avaliação dos produtos, sendo assim, com base no estudo de caso, a autora, recomenda o Laser Scanner Aerotransportado, na geração e atualização de bases cartográficas precisas.

Segundo Sloboda, a realização de testes para avaliar a qualidade dos dados advindos da tecnologia LiDAR, atende as exigências de exatidão posicional como classe A na escala 1:4.000 estabelecidas pelo

Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC constante no decreto nº. 89.817, de 20 de julho de 1984, portanto à qualidade geométrica deste tipo de mapeamento é evidenciada. Além da certeza do alto nível de confiabilidade e precisão.

Conforme a autora, a precisão atingida pelo LSA pode ser melhorada, pois um dos principais fatores de influência na precisão é a altura de vôo, quanto mais baixo maior é a precisão. Para um levantamento na altura de 1.000 m o desvio padrão dos dados é de aproximadamente 46 cm para planimetria e 14 cm para altimetria e para um levantamento na altura de 2.000 m o desvio padrão dos dados é de 80 cm para planimetria e 24 cm para altimetria. Esta variação do desvio padrão na planimetria está vinculada principalmente ao sistema inercial IMU do equipamento que tem uma precisão de $\pm 0,015^\circ$.

Para a melhoria de precisão nas aplicações do LSA, a autora, recomenda a calibração periódica do equipamento, ou seja, a realização de vôos de calibração altimétrica e planimétrica para cada nova missão. Na calibração do LSA são apresentados os resultados das análises estatísticas dos erros encontrados, os parâmetros resultantes, bem como a metodologia adotada em relatório de conclusão dos serviços.

Observando os resultados obtidos dos testes realizados no estudo, verificou-se que a base cartográfica obtida, apresenta uma tendência em todas as direções, ou seja, apresenta erros sistemáticos, principalmente na altitude como pode ser visto na tabela 05. Através destes resultados, Sloboda, recomenda para futuras pesquisas desta tecnologia, analisar os erros sistemáticos do Laser Scanner e quantificar estes, uma vez que, nos resultados do estudo, verificou que o LSA apresenta erros sistemáticos e não aleatórios.

6 Referências Bibliográficas

BRASIL, *Decreto-Lei n. 1.177 de 21 de junho de 1971. Dispõe sobre aerolevanteamento no território nacional*. Brasília, Diário Oficial da União, 1971.

BRASIL, *Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional*. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

FLOOD, M. *Laser altimetry: from science to commercial LIDAR mapping. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. EUA, 2003.

MONICO, J.F.G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações*, São Paulo: UNESP, 2000.

OPTECH Inc. *Data Processing Manual for the ALTM Laser System*, Canadá, 2002.

SLOBODA, L. *Proposta Metodológica para Confecção de Base Cartográfica a Partir de Dados Oriundos do Sistema Laser Scanner*, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2005.