

Fotos digitais obtidas com o uso de VANT para o mapeamento de áreas verdes do Campus da Unisinos em São Leopoldo: análise da exatidão posicional, utilizando o software GEOPEC

Reginaldo Macedônio da Silva¹

Leonardo Campos Inocencio¹

Beto Saraiva dos Reis¹

Gabriel Soares¹

Evandro Kirsten¹

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos
Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital - LASERCA
Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura
Av. Unisinos, 950 - CEP 93022-000 – São Leopoldo - RS, Brasil
macedonios@unisinos.br; lcinocencio@unisinos.br; betosr@unisinos.br;
gabrielsoare@unisinos.br; ekirsten@unisinos.br

Abstract. The use of new technologies for environmental mapping is increasing considerably, a technology that has emerged is the unmanned aerial vehicles (UAVs), but it should be understood what extent such information may be used and what level of quality data. Therefore, this study aimed to describe the pattern analysis of positional accuracy of digital photos taken by unmanned aerial vehicle (UAV), to analyze the level of positional quality, enabling the construction of a digital cartographic database for mapping green areas. Digital photos of the UAV were orthorectified using 13 control points obtained in the field on strategic and well-defined points. The orthorectified image was analyzed from the coordinates coming from the field, and these are configured in UTM projection and reference system SIRGAS2000. All points were tracked GNSS / RTK geodetic equipment tied to the geodetic network Campus Unisinos in São Leopoldo. For the study were collected in the field 31 points, such considered without errors. The result was within the specifications of the standard cartographic accuracy, which will allow the use of cartographic basis for mapping the green areas in the Unisinos Campus, located in São Leopoldo / RS.

Palavras-chave: unmanned aerial vehicle, global navigation satellite system, digital photos, veículo aéreo não tripulado, sistema global de navegação por satélite, fotos digitais

1. Introdução

O avanço de novas geotecnologias vem aumentando a cada ano, possibilitando aos usuários a obtenção de informações que não seriam possíveis há alguns anos atrás. Dentro desse contexto pode-se observar o crescente aumento de usuários de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) para diversas aplicações, como levantamento de patrimônio histórico (Palermo et al.,2013), monitoramento de fronteiras (utilizado pela Polícia Federal), partidas de futebol (como ocorreu na copa do mundo no Brasil esse ano), entre outras.

O uso de VANT permite hoje obter uma grande quantidade de dados, com maior qualidade, atualizações mais frequentes, maiores resoluções, o que possibilita atender a necessidade dos usuários por informações mais atualizadas. Essa informação pode, ainda, ser georreferenciada, com pontos de apoio no campo, por meio do uso de *GNSS (Global Navigation Satellite System – Sistema Global de Navegação por Satélite)*.

A possibilidade da obtenção de imagens georreferenciadas com o uso de VANT, veio atender a necessidade da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), de mapear as áreas verdes do Campus de São Leopoldo, para assim, manter sua base de dados atualizada, o que permitirá ao setor de Sistema de Gestão Ambiental (SGA) seu gerenciamento. Esse setor é responsável pela manutenção da certificação ambiental ISO14001, certificado esse, que a instituição possui desde dezembro de 2004.

Apesar do VANT ser equipado com receptores GNSS, eles não são capazes de realizarem um voo em trajetória retilínea, e até mesmo, manter a altitude de voo. Essa instabilidade pode

ser causada pela velocidade do vento, o que pode provocar problemas de escala e nos recobrimentos longitudinal e lateral (Júnior et al., 2014), sendo assim, o produto final pode ter distorções na geometria das imagens, podendo prejudicar a qualidade do georreferenciamento dos objetos presentes na imagem.

Assim, com a preocupação de analisar a qualidade do georreferenciamento obtido com o VANT, teve-se como objetivo principal desse trabalho a análise posicional, obedecendo ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), cujos critérios estão estabelecidos no Decreto-lei nº 89.817/1984, em seu artigo 8º, onde tem-se classificação das cartas quanto à sua exatidão.

O PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade que define a exatidão de trabalhos cartográficos, sendo essa probabilidade correspondente a 1,6449 vezes o Erro-Padrão (equação 1).

$$PEC = 1,6449.EP \quad (1)$$

Onde:

- PEC – corresponde ao Padrão de Exatidão Cartográfica;
- EP – corresponde ao Erro Padrão, podendo ser equivalente às expressões do Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

A área de estudo utilizada no trabalho foi o Campus da UNISINOS (Universidade do Vale do Rio dos Sinos), localizada no bairro Cristo Rei no município de São Leopoldo – RS (Figura 1).

O campus da Unisinos em São Leopoldo localiza-se na Latitude 29°47'40"S e Longitude 51°09'19"W, SIRGAS2000.

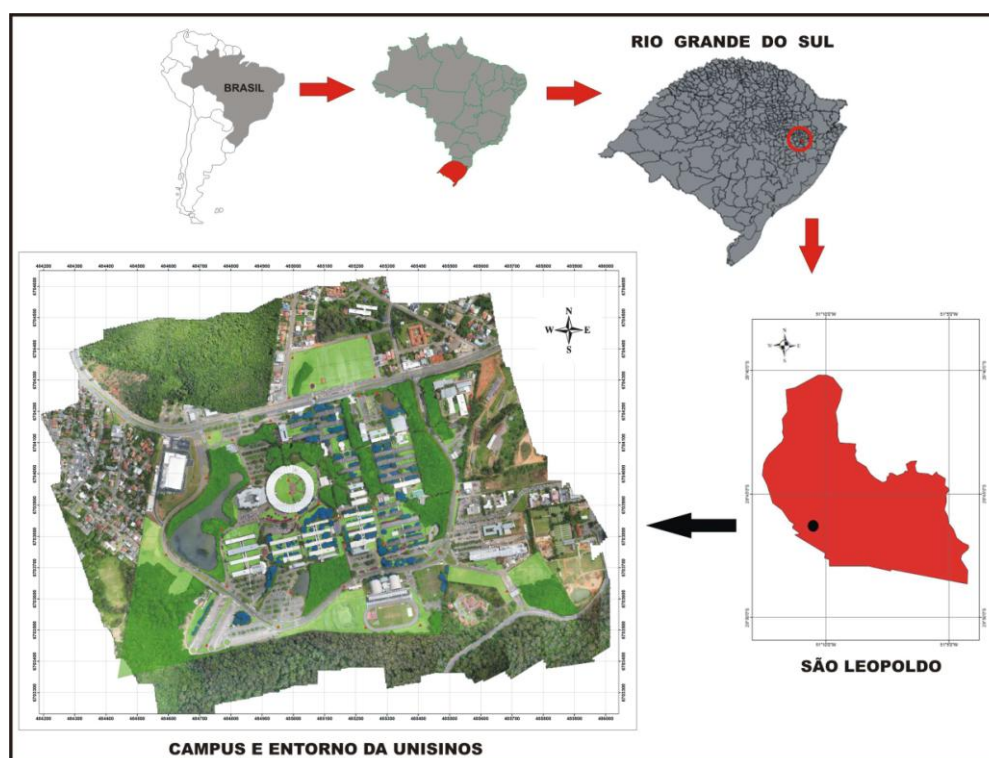


Figura 1 – Localização do Campus Unisinos em São Leopoldo

2.2. Obtenção das fotos aéreas com o VANT

Para obtenção das fotos aéreas foi necessário fazer um planejamento de voo, de forma a abranger toda a área do Campus da Unisinos (Figuras 2 e 3), perfazendo um total de aproximadamente 2 km².

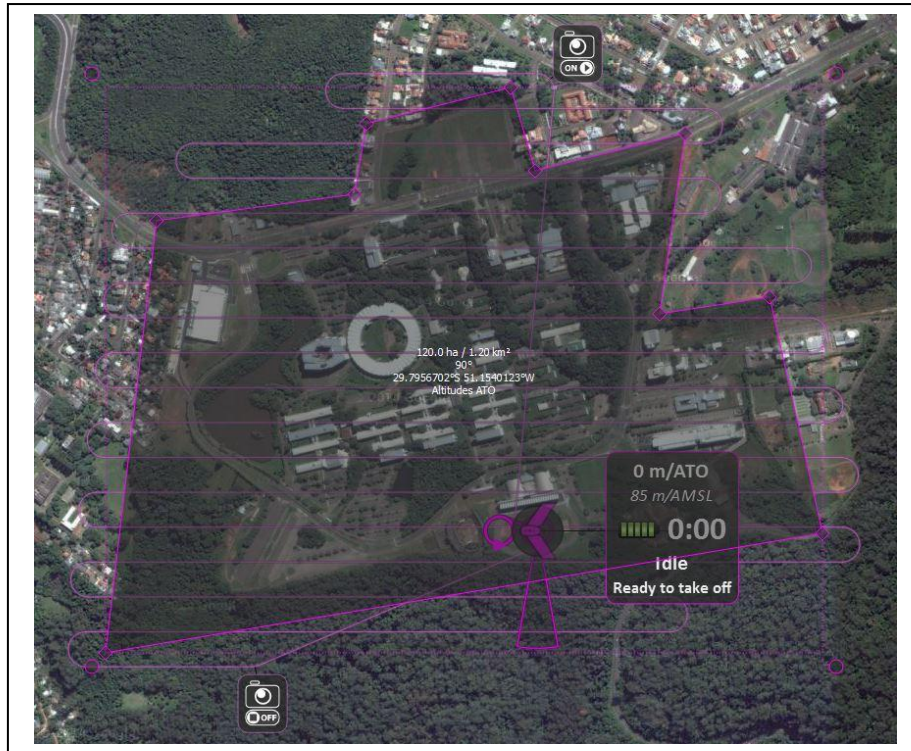


Figura 2 – Plano de voo abrangendo o Campus da Unisinos



Figura 3 – Posições do VANT na aquisição das fotos aéreas

Durante a obtenção das fotos aéreas teve-se uma preocupação com a velocidade do vento no local, pois dentro das características técnicas do VANT só é permitido à tomada das fotos quando essa velocidade não for maior do que 45 km/h.

O VANT utilizado na aquisição das fotos foi o eBee, fabricado pela empresa SenseFly (Figura 4). O equipamento tem as seguintes especificações técnicas:

- Envergadura de 96 centímetros;
- Menos de 700g de peso de decolagem;
- Câmera de 16MP, integrado e controlado eletronicamente;
- Bateria de lítio polímero;
- 45 minutos de tempo de voo;
- 36-57 km/h a velocidade de cruzeiro;
- Até 45 km/h a resistência ao vento;
- Link de rádio de até três quilômetros;
- Cobrir até 10km quadrados;
- Patamar Linear;
- Resolução de imagem de 3-30 cm/pixel (dependendo da altitude de vôo).

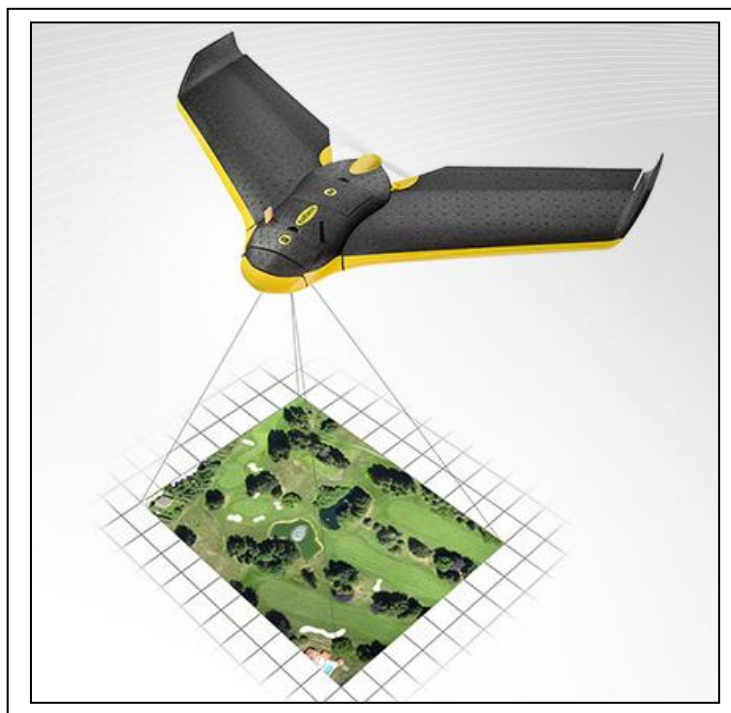


Figura 4 – VANT eBee
Fonte: SenseFly, 2014

Durante o voo obteve-se um total de 198 fotos digitais, utilizado na geração do mosaico ortorretificado. Esse mosaico foi georreferenciado com base em 13 pontos de controle, obtendo-se como resultado do processamento um erro médio residual de 0,076 m, com um erro máximo de 0,190 m.

2.3. Planejamento para o rastreamento dos pontos de validação

No planejamento para definição dos pontos de validação, medidos no campo, utilizou-se como parâmetro as fotos aéreas georreferenciadas (processadas), obtidas pelo VANT. A partir dessas fotos digitais definiu-se 31 pontos, utilizando-se para isso o software Autocad. Esses

pontos foram escolhidos pela melhor definição na imagem e pelo fácil acesso e identificação no campo (Figura 5), sendo a maioria deles cantos de calçada.

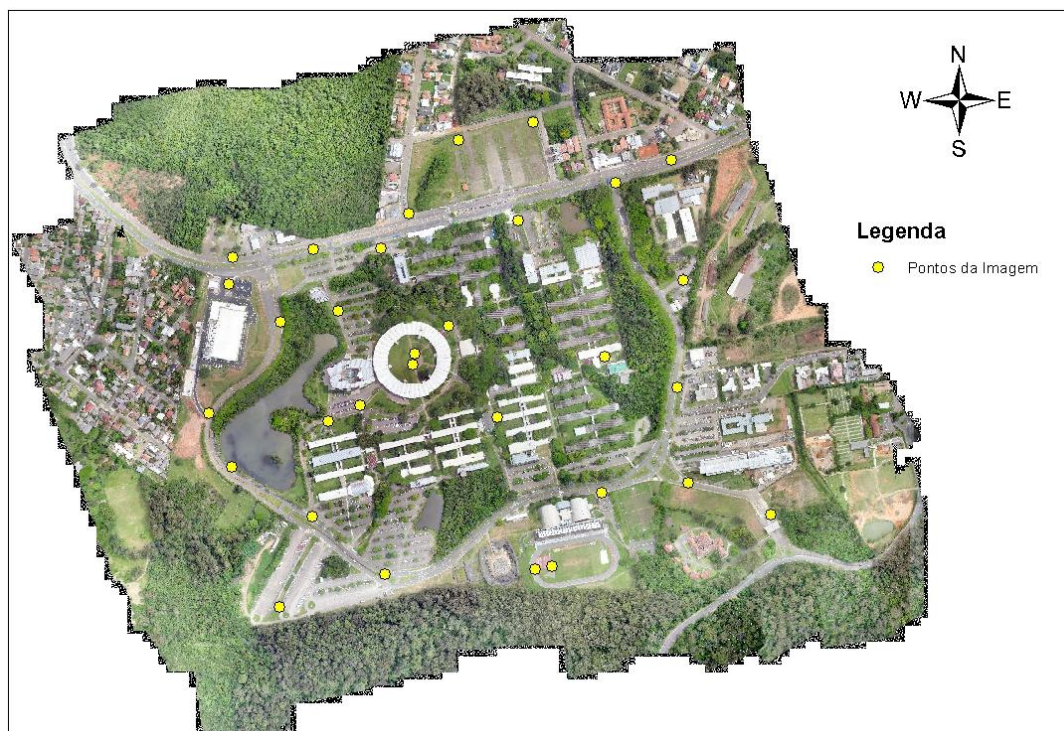


Figura 5 – Localização dos pontos de validação na imagem

2.4. Rastreamento dos pontos de validação

Para obtenção das coordenadas dos pontos no campo, executou-se um posicionamento diferencial (*RTK - Real Time Kinematic*), com o uso de dois receptores *GNSS* geodésico da marca *Leica* modelo 900. Para o transporte de coordenadas utilizou-se como ponto base o marco 002 da Rede Geodésica UNISINOS (Figura 6A), georreferenciado no Datum SIRGAS2000. Os pontos utilizados para a análise de posicionamento foram cantos bem definidos no campo (Figura 6B)



Figura 6A e B – (6A) Marco geodésico 002 da rede geodésica Unisinos – (6B) Ponto rastreado no campo

2.5. Processamento das coordenadas no software GEOPEC

Com base nas coordenadas obtidas no campo foi executada a análise de exatidão posicional, através do uso do software GEOPEC (Santos, 2008). Essa precisão do ortomosaico foi avaliada pelas discrepâncias calculadas entre as coordenadas planimétricas dos pontos de verificação com as coordenadas dos mesmos pontos lidas no ortomosaico. Nesse trabalho as coordenadas planimétricas obtidas no levantamento com GNSS/RTK foram consideradas como verdadeiras, isto é, isentas de erro.

Para análise dos resultados utilizou-se como parâmetro no software GEOPEC uma escala de referência 1/2500, com um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,050$)

No artigo 9º decreto-lei nº 89.817/1984 estabelece que as cartas sejam classificadas, segundo sua exatidão, nas classes A, B e C, considerando os seguintes critérios conforme Tabela 1:

Tabela 1. Padrão de Exatidão Cartográfico em função da escala. Fonte: Adaptado de PEC Decreto nº 89817

Escala	Classes	PEC Planimétrico		Erro Padrão	
		Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (mm)	Terreno (m)
1/2000	A	0,5	1,0	0,3	0,6
	B	0,8	1,6	0,5	1,0
	C	1,0	2,0	0,6	1,2
1/10000	A	0,5	5,0	0,3	3,0
	B	0,8	8,0	0,5	5,0
	C	1,0	10,0	0,6	6,0
1/150000	A	0,5	7,5	0,3	4,5
	B	0,8	12,0	0,5	7,5
	C	1,0	15,0	0,6	9,0

3. Resultados

Como resultado das coordenadas obtidas no campo tem-se as informações na Tabela 2:

Tabela 2. Coordenadas da imagem e obtidas no campo com GNSS

N	ID	Coordenadas UTM da Imagem		Coordenadas UTM do Campo - GNSS		Resíduo E(m)	Resíduo N(m)	Resíduo Absoluto
		E (metros)	N (metros)	E (metros)	N (metros)			
1	1	485202,2938	6704228,701	485202,5039	6704228,572	0,21	-0,129	0,2465
2	2	485396,0481	6704305,557	485396,6875	6704305,283	0,64	-0,274	0,6962
3	3	485508,3743	6704350,955	485508,9973	6704350,376	0,623	-0,579	0,8505
4	4	485531,394	6704110,195	485531,5632	6704110,128	0,169	-0,067	0,1818
5	5	485705,4184	6703642,435	485705,6926	6703643,137	0,275	0,702	0,7539
6	6	485540,9397	6703704,117	485541,2781	6703704,146	0,338	0,029	0,3392
7	7	485367,8907	6703684,227	485369,1207	6703684,525	0,206	0,306	0,3686
8	8	484936,0132	6703522,348	484936,3101	6703522,303	0,297	-0,045	0,3004
9	9	484726,03	6703456,806	484726,2844	6703457,096	0,254	0,29	0,3855
10	10	484790,2013	6703637,245	484790,0223	6703637,574	-0,179	0,026	0,3745
11	11	484821,7406	6703828,496	484821,4738	6703828,522	-0,267	0,071	0,2683
12	12	484886,4949	6703859,563	484886,1673	6703859,634	-0,328	0,042	0,3356

13	13	484991,002	6703941,404	484991,093	6703941,446	0,091	0,248	0,1002
14	14	484995,5283	6703964,036	484995,9458	6703964,284	0,418	-1,435	0,486
15	15	484629,2536	6703736,73	484630,2374	6703735,325	0,971	0,023	1,7326
16	16	484584,3301	6703844,174	484584,0525	6703844,197	-0,277	0,301	0,278
17	17	484727,0892	6704026,132	484726,9851	6704026,433	-0,104	0,451	0,3185
18	18	484842,9891	6704048,368	484842,9413	6704048,819	-0,048	0,074	0,4535
19	19	484927,5441	6704173,208	484927,521	6704173,282	-0,023	0,074	0,0775
20	20	484631,8968	6704155,948	484631,6898	6704155,707	-0,207	-0,241	0,3177
21	21	484623,1256	6704101,719	484623,1466	6704101,416	0,021	-0,303	0,3037
22	22	484791,905	6704171,515	484791,7208	6704171,395	-0,184	-0,12	0,2197
23	23	484983,5173	6704243,192	484983,8036	6704243,043	0,287	-0,149	0,3234
24	24	485083,2222	6704389,901	485083,2244	6704390,069	0,002	0,168	0,168
25	25	485231,9037	6704425,28	485231,8481	6704425,402	-0,056	0,122	0,1342
26	26	485060,0982	6704020,897	485063,3292	6704018	0,376	-0,116	0,3935
27	27	485159,6001	6703836,3	485159,8238	6703836,185	0,224	-0,115	0,2518
28	28	485373,7002	6703956,998	485373,5713	6703957,025	-0,129	0,027	0,1318
29	29	485235,8861	6703532,314	485235,6934	6703532,896	0,186	0,694	0,7185
30	30	485269,3751	6703538,333	485269,6551	6703539,014	0,238	0,521	0,5728
31	31	485519,3494	6703896,062	485519,3893	6703895,912	0,04	-0,15	0,1552

Para o teste de tendência, utilizou-se o teste t de *Student*, observando um nível de confiança $(1 - \alpha)$ igual a 95% ($\alpha = 0,050$). A partir do número de pontos coletados, chega-se um valor limite $t_{n-1, \alpha/2}$ que pode ser obtido por meio de tabelas. Dessa forma, se o valor absoluto do teste t calculado for menor que o teste t tabelado (equação 2) para as duas componentes (Norte (N) e Este (E)), a imagem estará livre de erros sistemáticos nas suas coordenadas planimétricas.

$$|t_{\text{calc}}| < t_{n-1, \alpha/2} \quad (2)$$

O teste t de *Student* é calculado obedecendo às seguintes hipóteses e fórmulas:

Para a coordenada E:

H0: se $\Delta E=0$, então E não é tendencioso

H1: se $\Delta E \neq 0$, então E é tendencioso;

$$t_{\text{calc}_E} = (\Delta E \times \sqrt{n}) / S_E \quad (3)$$

Para a coordenada N:

H0: se $\Delta N=0$, então N não é tendencioso;

H1: se $\Delta N \neq 0$, então N é tendencioso;

$$t_{\text{calc}_N} = (\Delta N \times \sqrt{n}) / S_N \quad (4)$$

Nesse teste obteve-se o resultado apresentado na tabela 3:

Tabela 3. Resultado da análise de tendência para as coordenadas E e N

Coord.	t tab	t calc	Resultado
E(m)	2,0452	1,8819	Sem Erros
N(m)	2,0452	1,3383	Sem Erros

Quanto ao teste de precisão, utilizou-se o teste *Qui-quadrado*, que obedece aos valores do Erro Padrão (EP) estabelecido no Decreto-Lei 87.817.

Para calcular o erro padrão (σ) de cada componente utilizou-se as equações (5) e (6).

$$\sigma_N = \sigma_E = EP / \sqrt{2} \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{Planimétrico}} = EP \quad (6)$$

Para a imagem analisada atender à precisão (classe A, B ou C) o valor do teste Qui-quadrado calculado ($\chi^2_{N, n-1}$, $\chi^2_{E, n-1}$) for menor que o teste Qui-quadrado tabelado ($\chi^2_{n-1, \alpha}$), equação (7), para as duas componentes (Norte e Este) na análise planimétrica.

$$\chi(j, n-1) \text{ calc} < \chi^2_{(n-1, \alpha)} \text{ tabelado} \quad (7)$$

As hipóteses e fórmulas utilizadas para o teste *Qui-quadrado* foram as seguintes:

Para a coordenada E (equação 8):

H0: se $S_E^2 = \sigma_E$;

H1: se $S_E^2 > \sigma_E$;

$$\chi^2_{E, n-1} = ((n-1) \times S_E^2) / \sigma_E^2 \quad (8)$$

Para a coordenada N (equação 9):

H0: se $S_N^2 = \sigma_N$;

H1: se $S_N^2 > \sigma_N$;

$$\chi^2_{N, n-1} = ((n-1) \times S_N^2) / \sigma_N^2 \quad (9)$$

Portanto, para a imagem analisada obteve-se o resultado da tabela 4:

Tabela 4. Resultado do teste de precisão para as coordenadas E e N

Classe	X ² tab	X ² E(m)	X ² N(m)	Resultado
A	42,6	6,9818	8,7566	Aprovado
B		2,5131	3,1519	Aprovado
C		1,7451	2,1887	Aprovado

4. Conclusões

O trabalho mostrou que, as análises dos resultados estão de acordo com o padrão de exatidão cartográfica para as classes A, B e C, sendo assim, essas imagens obtidas com base nas fotos digitais do VANT podem ser utilizadas para a delimitação das áreas verdes do Campus da Unisinos em São Leopoldo, dentro da escala analisada, o que permitirá ao setor de Sistema de Gestão Ambiental o gerenciamento dessas informações.

A rede de apoio GNSS implantada no Campus da Unisinos, além de apoiar a atualização dessas informações possibilitará o uso em atividades acadêmicas, propiciando aos estudantes o aprendizado com dados georreferenciados.

Pelos testes observou-se que a imagem obtida do Campus de São Leopoldo não possui tendência de erros nas componentes “Este” e “Norte” e que a mesma pode ser enquadrada, tanto em exatidão quanto em precisão.

A imagem final permite uma qualidade visual muito boa o que facilitará a interpretação das informações a ser mapeado, com base na identificação das áreas verdes do Campus, o que possibilitará a sua atualização.

Futuramente poderá ser executado um novo voo com o VANT, para posterior comparação do desenvolvimento das áreas verdes mapeadas atualmente, o que também, permitirá fazer uma análise espaço temporal, com base na mensuração quantitativa.

Referências Bibliográficas

Ferreira, A. M. R.; Roig, H. L.; Marotta, G. S.; Menezes, P. H. B. J. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 9308-9315. On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1264.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2014.

Júnior, L. R. A.; Côrtes, J. B. R.; Ferreira, M. E. Validação de mosaicos aerofotogramétricos utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica acoplada a um VANT. In: Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC), 26., 2014, Gramado. **Anais...** Porto Alegre - UFRGS, 2014. Artigos, p. 9308-9315. On-line. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/603/CT04-101_1404786002.pdf>. Acesso em: 15 set. 2014.

Oliveira, M. Z.; Veronez, M. R.; Turani, M.; Reinhardt, A. O. Imagens do Google Earth para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para o município de São Leopoldo/RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1835-1842. On-line. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.10.17.37/doc/1835-1842.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

Santos, A. P. dos **Avaliação dos Padrão de Exatidão Cartográfica em Imagens Ikonos e CBERS-2B na bacia do Ribeirão São Bartolomeu, em Viçosa-MG.** 2008. 41 p. Monografia – Universidade de Viçosa, Viçosa – MG, 2008.