

CORREÇÃO DE DISCREPÂNCIAS DE COORDENADAS UTM OBTIDAS POR APARELHO DE GNSS DE NAVEGAÇÃO E GOOGLE EARTH EM LEVANTAMENTOS PLANIMÉTRICOS

Arnaldo Antônio de Melo Júnior¹; Maicon Heitor do Nascimento²; Marco Antônio do Carmo³;

1 Arnaldo Antônio de Melo Júnior, Agronomia, IFMG Campus Bambuí, Bambuí - MG; aamelojunior@hotmail.com

2 Maicon Heitor do Nascimento, Agronomia, Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí – MG

3 Marco Antônio do Carmo: Pesquisador do IFMG, Campus Bambuí; marco.carmo@ifmg.edu.br

RESUMO

Constatou-se nos últimos anos, um aumento na utilização dos métodos de posicionamentos por Sistemas Globais de Navegação por Satélite “Global Navigation Satellite Systems” (GNSS), sejam os receptores GNSS geodésicos, de navegação e até mesmo o aplicativo Google Earth, para elaboração de levantamentos Planimétricos, buscando tornar mais rápido e econômico estes levantamentos. Porém muitas destas tecnologias não deixam claro informações sobre a precisão das mesmas, podendo mascarar o resultado obtido. Neste trabalho foram avaliados dois métodos de georreferenciamento, sendo feito medidas em três áreas no Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Bambuí, utilizando equipamento Receptor GARMIN GPSMA 64, Receptor Geodésico TRIMBLE NET R9 e o aplicativo Google Earth. Com o resultado obtido através dos dados coletados para avaliações, dos três métodos de levantamento planimétrico, pode-se observar que o levantamento feito com o Google Earth foi mais preciso e permitiu melhor correção que o GNSS de Navegação quando comparado ao GNSS Geodésico que possui erro milimétrico.

Palavras-chave: Topografia. UTM. Georreferenciamento.

INTRODUÇÃO:

Os levantamentos planimétricos podem ser realizados, empregando-se os mais diversos equipamentos, desde os mais simples como os teodolitos até os mais complexos, como a estação total e os receptores GNSS. O teodolito e estação total, já os receptores GNSS reduzem de forma considerável essa mão de obra e aumentam sensivelmente a qualidade do produto final ou seja o mapa planimétrico.

Os sistemas globais de Navegação por Satélite (GNSS) são formadas por constelações de satélites, que fornecem dados a um receptor ou seja as coordenadas na superfície terrestre, a latitude (norte, sul) e longitude (leste, oeste) de pontos de interesse. As coordenadas podem ser geodésicas ou UTM. Os receptores GNSS podem ser classificados como Navegação, topográficos e Geodésicos, dependendo da sua precisão. Os receptores de navegação têm precisão aproximada de 10 metros, os receptores topográficos têm precisão normalmente abaixo de 3 metros, já os receptores geodésicos por sua vez têm precisão centimétrica. (SANTIAGO & CINTRA, 2018).

Embora o GNSS de navegação tenha limitações de precisão para uso em levantamentos planimétricos, e não seja esta a sua finalidade, seu uso tem sido bastante difundido, devido ao seu baixo custo, assim diversos profissionais tem feito o uso desta tecnologia para determinação de áreas

Outra ferramenta simples, com tecnologia que vem sendo difundida entre os profissionais, por ser disponibilizada gratuitamente pelo Google, o Google Earth fornece tanto coordenadas geodésicas, quanto coordenadas UTM por meio de imagens da superfície terrestre. (SILVA e NAZARENO, 2009).

No entanto o uso do GNSS de navegação e o Google Earth sem se conhecer exatamente sua precisão comparados a um padrão (GNSS Geodésico), podem gerar erros que comprometem a confiabilidades dos resultados em levantamentos planimétricos. Neste sentido, torna-se imprescindível a comparação entre os três dispositivos determinando as discrepâncias entre os três métodos/aparelhos, considerando o GNSS geodésico como padrão, analisando a possibilidade de correção das coordenadas UTM obtidas pelo GNSS de navegação e Google Earth.

METODOLOGIA:

As áreas de estudo localizam-se no Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí, cidade localizada na região Centro Oeste de Minas Gerais. Foram estudadas três áreas (Apicultura, Equideocultura e Bovinocultura), coletando ao todo coordenadas UTM de dezesseis pontos, conforme mostram as figuras de 01 a 03.



Figura 01- Apicultura



Figura 02- Equideocultura



Figura 03- Bovinocultura

Fonte: Google Earth (2019).

Foram coletadas as coordenadas UTM dos vértices das três áreas, utilizando os aparelhos receptores Geodésico TRIMBLE NET R9, GNSS de Navegação GARMIN GPSMA 64 e aplicativo Google Earth Pro. A estação base do receptor geodésico foi materializada dentro do IFMG *campus* Bambuí, e teve sua coordenada corrigida pelo Posicionamento por Ponto Preciso disponibilizado pelo IBGE:

Tabela 01 – Coordenadas UTM coletadas em cada ponto

ÁREA	Pontos	GNSS NAVEGAÇÃO		GNSS GEODÉSICO		GOOGLE EARTH	
		E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
APICULTURA	1	393.789	7.783.683	393.744,402	7.783679,510	393.750	7.783.682
	2	393.791	7.783.630	393.750,147	7.783.586,993	393.751	7.783.591
	3	393.734	7.783.630	393.693,814	7.783.587,248	393.697	7.783.591
	4	393.726	7.783.673	393.666,081	7.783.685,099	393.667	7.783.679
EQUIDEOCULTURA	5	394.520	7.784.614	394.478,087	7.784.569,624	394.479	7.784.573
	6	394.592	7.784.572	394.551,807	7.784.526,614	394.554	7.784.531
	7	394.647	7.784.717	394.606,985	7.784.673,135	394.612	7.784.675
	8	394.637	7.784.737	394.593,977	7.784.694,980	394.600	7.784.688
	9	394.620	7.784.752	394.578,620	7.784.707,496	394.574	7.784.706
BOVINOCULTURA	10	393.933	7.783.850	393.890,828	7.783.800,493	393.894	7.783.802
	11	393.903	7.783.903	393.861,330	7.783.870,634	393.862	7.783.877
	12	393.883	7.783.985	393.840,822	7.783.940,767	393.842	7.783.942
	13	393.867	7.784.019	393.824,564	7.783.974,429	393.826	7.783.975
	14	393.801	7.784.086	393.754,406	7.784.042,813	393.763	7.784.041
	15	393.801	7.784.004	393.756,167	7.783.961,972	393.759	7.783.961
	16	393.785	7.783.847	393.742,053	7.783.803,659	393.746	7.783.808

Fonte: O Autor

O Software AUTOCAD foi utilizado para desenho e sobreposição dos mapas, melhor ilustrando a discrepância entre as áreas geradas pelas diferentes tecnologias e o software Excel – Planilha eletrônica desenvolvida pela Microsoft, foi utilizada para auxiliar nos cálculos estatísticos.

Nas Figuras 04, 05 e 06 estão mostradas as delimitações das áreas estudadas utilizando GNSS Geodésico e o GNSS Navegação podendo ser notada a variação entre eles.

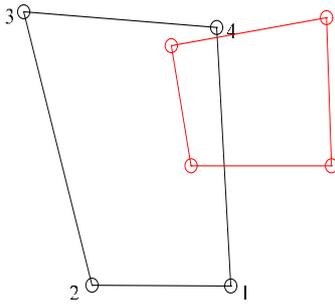


Figura 04- Apicultura

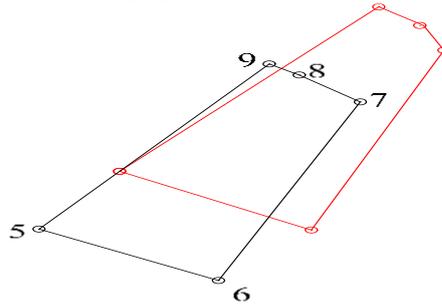


Figura 05- Equideocultura

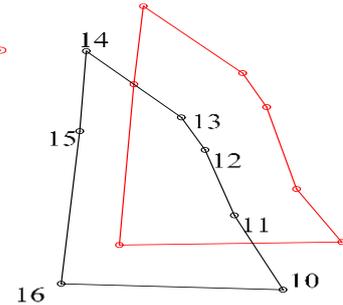


Figura 06- Bovinocultura

Legenda:

— GNSS Geodésico, — GNSS Navegação

Fonte: O autor (2019).

Nas Figuras de 07, 08 e 09, estão as comparações das delimitações das áreas estudadas utilizando GNSS Geodésico e o Google Earth.

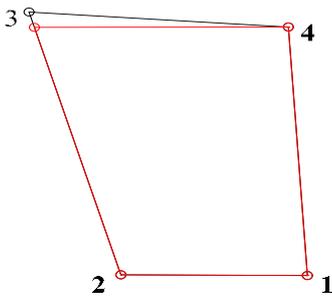


Figura 07 - Apicultura

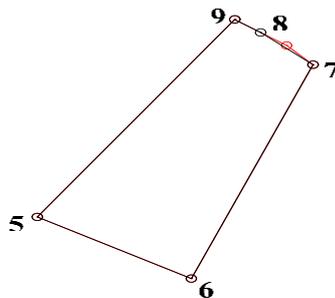


Figura 08- Bovinocultura

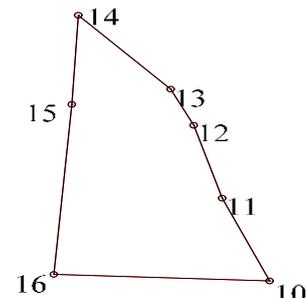


Figura 09- Equideocultura

Legenda:

— GNSS Geodésico, — Google Earth

Fonte: O autor (2019).

2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

No trabalho foi analisada a precisão e a existência de tendência geométrica das coordenadas coletadas. A análise de tendência foi feita a partir do teste t-Student e a análise de precisão baseada na distribuição qui-quadrado. Foram calculadas as diferenças entre cada uma das coordenadas originando-se o valor das discrepâncias na coordenada E e na N (Equação 1):

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{\text{GNSS RTK}} - E_{\text{GPS nav}} & e & \Delta N = N_{\text{GNSS RTK}} - N_{\text{GPS nav}} \\ \Delta E &= E_{\text{GNSS RTK}} - E_{\text{GOOGLE EARTH}} & e & \Delta N = N_{\text{GNSS RTK}} - N_{\text{GOOGLE EARTH}} \end{aligned} \quad (1)$$

Onde: ΔE & ΔN discrepâncias;
 $E_{\text{GOOGLE EARTH}}$; $N_{\text{GOOGLE EARTH}}$ coordenadas obtida por Google Earth;
 $E_{\text{GPS nav}}$; $N_{\text{GPS nav}}$ coordenadas obtida por GPS de navegação;
 $E_{\text{GNSS RTK}}$; $N_{\text{GNSS RTK}}$ coordenadas obtida por aparelho receptor GNSS RTK.

Logo após foi calculada a média e o desvio-padrão das discrepâncias. A média das discrepâncias foi calculada a partir da Equação 2:

$$\bar{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E}{n} \quad e \quad \bar{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N}{n} \quad (2)$$

Onde: $\bar{\Delta E}$ e $\bar{\Delta N}$ são as discrepâncias médias calculadas pelos pontos. O desvio-padrão da média das

discrepâncias foi calculado utilizando a Equação 3:

$$\hat{\sigma}_{\Delta E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta E - \overline{\Delta E})^2}{n(n-1)}} \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}_{\Delta N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N - \overline{\Delta N})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

ANÁLISE DE PRECISÃO

Para a análise de precisão é preciso obter o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfico) e o EP (Erro Padrão), conforme os valores adotados no Brasil (Decreto-lei N° 89.817/84) para cada classe. Na Tabela 01 estes valores estão calculados para a escala 1:5.000.

Tabela 02 – Valores do PEC e EP para escala 1:5000

Classe	PEC	EP (na escala da carta)	EP (no terreno)
A	0,5 m	0,3 mm	1,5 m
B	0,8 m	0,5 mm	2,5 m
C	1,0 m	0,6 mm	3,0 m

Fonte: Decreto – Lei n° 89.817/84.

A precisão foi verificada comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) esperado para a classe.

Portanto o teste de hipótese a ser comprovado é o seguinte:

$$H_0: \begin{matrix} \hat{\sigma}_{\Delta E} = \sigma \\ \text{e} \\ \hat{\sigma}_{\Delta N} = \sigma \end{matrix} \quad \text{versus} \quad H_1: \begin{matrix} \hat{\sigma}_{\Delta E} > \sigma \\ \text{e} \\ \hat{\sigma}_{\Delta N} > \sigma \end{matrix}$$

Onde o termo σ é o desvio padrão esperado, que é calculado pela Equação 4:

$$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Para que a hipótese H_0 contra H_1 fosse testada foi calculado um qui-quadrado amostral e logo após comparando este, com o valor teórico obtido através da distribuição de probabilidade do qui-quadrado (χ^2).

O valor teórico é obtido em tabelas próprias, onde o grau de liberdade utilizado como argumento é ($u = n - 1$) e o nível de confiança ($1 - \alpha$).

No presente trabalho o grau de liberdade utilizado foi $u = 20 - 1$ e o nível de confiança. $(1 - \alpha) = 90\%$. Em seguida foi aplicado o teste qui-quadrado amostral utilizando a Equação 5.

$$\hat{X}^2_{\Delta E} = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta E}^2}{\sigma^2} (n-1) \quad \text{e} \quad \hat{X}^2_{\Delta N} = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta N}^2}{\sigma^2} (n-1) \quad (5)$$

Logo após foi verificado se o valor calculado acima está no intervalo de aceitação, ou seja:

$$\hat{X}^2_{\Delta E} \leq \chi^2_{1-\alpha, U=n-1} \quad \text{e} \quad \hat{X}^2_{\Delta N} \leq \chi^2_{1-\alpha, U=n-1}$$

Após testar a equação foi possível relatar em quais classes estão inseridas as coordenadas coletadas no IFMG *Campus* Bambuí.

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

Nesta análise de tendências foi verificado se a média das discrepâncias pode ser considerada igual a zero. Então as hipóteses a serem avaliadas são as seguintes:

$$H_0: \begin{matrix} \overline{\Delta E} = 0 \\ \text{e} \\ \overline{\Delta N} = 0 \end{matrix} \quad \text{versus} \quad H_1: \begin{matrix} \overline{\Delta E} \neq 0 \\ \text{e} \\ \overline{\Delta N} \neq 0 \end{matrix}$$

Para esta análise foi utilizada a distribuição de probabilidade t de Student, onde é calculado um t amostral contra um valor teórico obtido em tabela, de referência com graus de liberdade $u = n-1$ e nível de confiança igual a $1-\alpha/2$. A estatística amostral t foi calculada através da seguinte equação Equação 6:

$$\hat{t}_{\Delta E} = \frac{\bar{\Delta E}}{\hat{\sigma}_{\Delta E}} \sqrt{n} \quad \text{e} \quad \hat{t}_{\Delta N} = \frac{\bar{\Delta N}}{\hat{\sigma}_{\Delta N}} \sqrt{n} \quad (6)$$

O intervalo de confiança relativo ao teste t de Student analisado foi:

$$|\hat{t}_{\Delta E}| < t_{1-\alpha/2}^{u=n-1} \quad \text{ou} \quad |\hat{t}_{\Delta N}| < t_{1-\alpha/2}^{u=n-1}$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

ANÁLISE DE PRECISÃO

Os valores das discrepâncias médias e dos desvios-padrão das médias das discrepâncias das coordenadas estão apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 -Valores das discrepâncias das médias e desvio padrão das médias das discrepâncias - Coordenadas Originais

Aparelho receptor utilizado	$\bar{\Delta E}$	$\bar{\Delta N}$	$\hat{\sigma}_{\Delta E}$	$\hat{\sigma}_{\Delta N}$
Google Earth	- 2,694	- 0,78	- 0,584	- 0,732
GNSS Navegação	-42,173	- 38,52	- 1,15082	- 3,443

Fonte: O autor (2019).

Analisando os mapas sobrepostos nas Figuras 04 a 09 e a Tabela 03, conclui-se que nas imagens geradas através do software Google Earth, houve um deslocamento médio dos pontos de 2,964 m para oeste e 0,78 m para o sul, enquanto que nas imagens geradas via GNSS de navegação houve um deslocamento da imagem de 42,173 m para oeste e 38,52 m para sul.

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

Os valores do desvio padrão e Qui-quadrados amostrais calculados para cada classe são apresentadas nas Tabelas 04 e 05.

Tabela 04 - Desvio Padrão e Qui-quadrados amostrais calculados – GNSS Navegação.

ANÁLISE DE PRECISÃO				
Classe	EP 1:5000	σ	$\hat{X}_{\Delta E}^2$	$\hat{X}_{\Delta N}^2$
A	1,5 m	1,0606	22,367	198,702
B	2,5 m	1,7677	8,052	71,532
C	3,0m	2,1213	5,591	49,67

Fonte: O autor (2019).

O valor teórico obtido na tabela de Qui-quadrado é: $X_{0,9}^{2, U=19} = 28,42$

Após estes procedimentos constatou-se que os qui-quadrados amostrais são maiores que o teórico, podendo-se dizer então, que a imagem do GNSS de Navegação do IFMG *campus* Bambuí não atende ao PEC com 90% de nível de confiança, não sendo classificada em nenhuma classe para escala de 1:5.000.

Tabela 05 - Desvio Padrão e Qui-quadrados amostrais calculados – Google Earth

ANÁLISE DE PRECISÃO				
Classe	EP 1:5000	σ	$\hat{X}_{\Delta E}^2$	$\hat{X}_{\Delta N}^2$
A	1,5 m	1,0606	5,7778	9,0692
B	2,5 m	1,7677	2,0803	3,2649
C	3,0m	2,1213	1,4447	2,2673

Fonte: O autor (2019).

Após estes procedimentos constatou-se que os Qui-quadrados amostrais são menores que o teórico, podendo-se dizer então, que a imagem do Google Earth do IFMG *campus* Bambuí atende ao PEC

com 90% de nível de confiança, sendo classificada com classe A para a escala de 1:5000. Obtendo assim resultados similares ao trabalho de pesquisa realizado por SILVA e NAZARENO (2009) na cidade de Goiânia. Na Tabela 6 estão os valores t -Student amostrais.

Tabela 06 - Os valores de t -Student amostrais.

Aparelho receptor	$\hat{t}_{\Delta E}^2$	$\hat{t}_{\Delta N}^2$
GNSS de Navegação	163,883	50,2319
Google Earth	20,598	4,737

Fonte: O autor (2019).

O valor teórico para t -Student obtido na tabela foi : $t_{0,95}^{U=20} = 1,7247$

Como o valor calculado para t -Student a partir das amostras foi maior que o valor teórico, então se conclui que as imagens geradas através do GNSS de Navegação têm um deslocamento de 38,52 m para Sul e de 42,173 m para o Oeste e que as imagens geradas pelo Google Earth têm o deslocamento de 0,78 m para o Sul e 2,694 m para o Oeste.

Na análise de tendência ficou constatado que a imagem não está livre delas, ou seja, existem deslocamentos “constantes” na direção E e N, tanto para os dados coletados via GNSS de navegação, quanto Google Earth.

CORREÇÃO DE TENDÊNCIA

Na Tabela 07 podem ser verificados os valores das discrepâncias das médias e desvio-padrão das médias das discrepâncias- coordenadas corrigidas estão os valores t -Student amostrais.

Tabela 07 – Valores das discrepâncias das médias e desvio-padrão das médias das discrepâncias- coordenadas corrigidas.

Aparelho receptor	$\bar{\Delta E}$	$\bar{\Delta N}$	$\hat{\sigma}_{\Delta E}$	$\hat{\sigma}_{\Delta N}$	$\hat{t}_{\Delta E}^2$	$\hat{t}_{\Delta N}^2$
Google Earth	0,0003	0,000	0,584	0,732	0,00	0,00
GNSS Navegação	0,000	0,000	1,15082	3,443	-0,00013	-5×10^{-5}

Fonte: O autor (2019).

Foram realizadas translação da área utilizando-se a média das coordenadas calculadas para cada uma das direções, anula-se a tendência sem com isso, no entanto alterar a classificação da imagem quanto a PEC.

As comparações entre áreas estudadas delimitadas pelo GNSS Geodésico e o GNSS de Navegação corrigido estão apresentadas nas Figuras de 10 à 12.

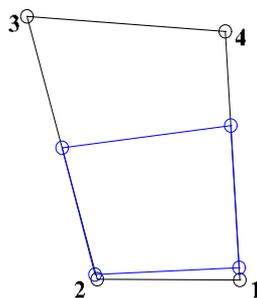


Figura 10- Apicultura

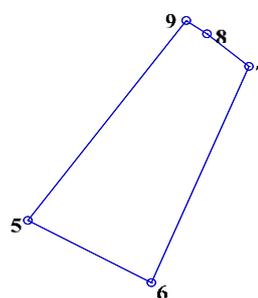


Figura 11 - Equideocultura

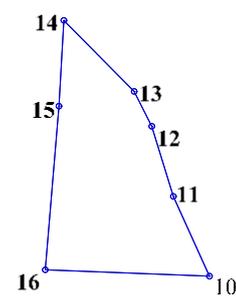
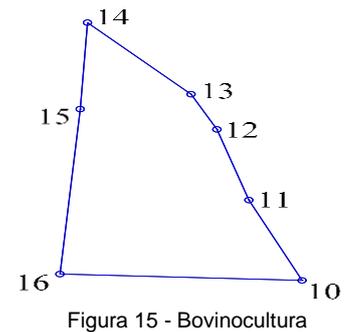
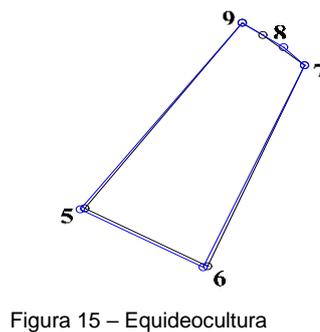
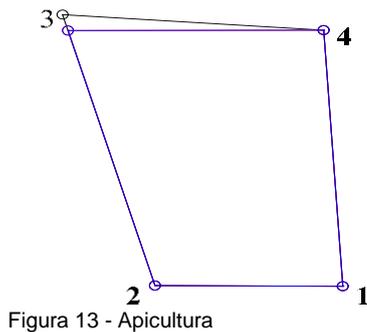


Figura 12 - Bovinocultura

Legenda:
 _____ GNSS Geodésico, _____ GNSS de Navegação corrigido
 Fonte: O autor (2019).

As comparações entre áreas estudadas delimitadas pelo GNSS Geodésico e GNSS Google Earth corrigido estão apresentadas nas Figuras de 13 à 15.



Legenda:
 _____ GNSS Geodésico, _____ Google Earth corrigido
 Fonte: O autor (2019).

Tabela 08 - Áreas dos terrenos georreferenciados.

LOCAL	Áreas m ²					
	GNSS geodésico		GNSS Navegação		Google Earth	
	ORIGINAL (REAL)	ORIGINAL	CORRIGIDO	ORIGINAL	CORRIGIDO	
Apicultura	6.359,5589	2.905,00	3.136,4457	6.140,1919	6.140,1919	
Equino	10.575,3469	10.856,3726	10.575,3469	10.599,4736	10.737,6047	
Bovino	20.209,8270	20.692,2625	20.209,8270	20.209,8270	20.209,8270	

Após a correção das discrepâncias das coordenadas obtidas tanto via GNSS de navegação, quanto via Google Earth, pode-se observar que houve sobreposição dos pontos nas áreas de equideocultura e bovinocultura e que se manteve uma distância significativa entre os pontos originais e corrigidos da área de Apicultura.

Área original obtida via GNSS de Navegação da Apicultura correspondeu a 45,67% da área real e sua área corrigida a 49,31% da área real, enquanto que a área original obtida via Google Earth correspondeu a 96,56% da área real, e a área do Google Earth corrigida a mesma porcentagem.

Área original obtida via GNSS de Navegação da Equinocultura correspondeu a 102,65% da área real e sua área corrigida a 100%, enquanto que a área original obtida via Google Earth correspondeu 100,22% da área real, e a área do Google Earth corrigida correspondeu a 101,53% da área real.

Área original obtida via GNSS de Navegação de Bovinocultura correspondeu a 102,38% da área real e sua área corrigida à 100,00%, enquanto que a área original obtida via Google Earth correspondeu 100,00% da área real, e a área do Google Earth corrigida correspondeu a 100,00% da área real.

CONCLUSÕES:

Considerando o Decreto lei 89.817 a imagem do IFMG *campus* Bambuí, disponível atualmente no Google Earth, atende ao PEC classe A na escala de 1:5000, com 90% de nível de confiança, enquanto que as imagens geradas pelas coordenadas dos pontos obtidas via GNSS de navegação não atende a nenhuma classe do PEC. As áreas obtidas via Google Earth são mais próximas do real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 15 set 2019.

SANTIAGO & CINTRA. Como funciona o sistema RTK (Real Time Kinematic)? **Santiago & Cintra: Geo - Tecnologias**, 16 fev 2018. Disponível em: <<https://www.santiagoecintra.com.br/blog/geo-tecnologias/como-funciona-o-sistema-rtk-real-time-kinematic-y>>. Acesso em: 10 ago 2019.

SILVA, L. A.; NAZARENO, N. R. X. Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2009, NATAL. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 1723-1730.