

Acurácia posicional de ortoimagens KOMPSAT 3/3A: estudo de caso em Guarapari/ES

RESUMO

Renan Fabres Dalmonech
renandalmonech@ufpr.br
orcid.org/0000-0002-4289-9873
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Tiago Prudencio Silvano
tiago.prudencio@ufpe.br
orcid.org/0000-0002-3287-5907
Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

Joel Borges dos Passos
joel.passos@ufpe.br
orcid.org/0000-0001-9191-1691
Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

Thiago Arruda Silva
thiago.arrudas@ufpe.br
orcid.org/0009-0004-3582-7304
Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

Thiago Kerr Padilha
thiaokerr@ufpr.br
orcid.org/0009-0003-8630-8291
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Este estudo avaliou a acurácia posicional de ortoimagens do satélite KOMPSAT 3/3A, obtidas entre 2019 e 2020 para o Espírito Santo, adquiridas pelo governo do estado e disponibilizadas gratuitamente em repositório digital. A avaliação seguiu os normativos brasileiros que estabelecem os procedimentos e padrões para produtos cartográficos digitais, com foco na validação de ortoimagens. O controle de qualidade posicional foi feito com base no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, e na Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), versão 2016. Foram aplicados métodos de análise do padrão de distribuição espacial dos dados geoespaciais, bem como a análise de tendências, utilizando a média direcional dos vetores e a variância circular. A partir das discrepâncias encontradas entre os pontos extraídos manualmente nas ortoimagens avaliadas e seus homólogos em produtos de maior acurácia, pôde-se realizar os cálculos estatísticos necessários para verificar a qualidade das ortoimagens em uma área de estudo que abrange o Município de Guarapari/ES. O teste mais relevante realizado foi a classificação no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), com as ortoimagens avaliadas atingindo a classe PEC “B” na escala 1:10.000 e a classe PEC “A” para escalas de 1:25.000 e inferiores, o que permitiu concluir que as ortoimagens KOMPSAT 3/3A apresentam alta qualidade posicional para o mapeamento em escalas topográficas na região analisada.

PALAVRAS-CHAVE: Acurácia Posicional. Ortoimagens KOMPSAT 3/3A. Padrão de Exatidão Cartográfica.

INTRODUÇÃO

A finalidade primordial da avaliação da qualidade de insumos e produtos cartográficos é determinar os tipos de trabalhos aos quais eles podem ser direcionados e utilizados, sendo a acurácia posicional um fator de qualidade que influencia, direta ou indiretamente, a ampla maioria dos trabalhos de mapeamento e análise de informações geográficas com uso de dados geoespaciais. A acurácia posicional refere-se à qualidade da posição geográfica de uma feição em um mapa ou produto cartográfico, calculada a partir das diferenças entre as coordenadas dessas feições no produto avaliado e seus homólogos obtidos de um produto de maior acurácia ou de levantamentos de campo, que utilizam pontos de controle coletados com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de alta precisão. Essa abordagem apresenta a desvantagem de demandar mais tempo e recursos, devido à necessidade de envio de equipes a campo para coleta dos pontos *in loco* (FERREIRA *et al.*, 2016).

Os autores Mônico *et al.* (2009) entendem por acurácia o nível de conformidade de um valor testado com um padrão previamente adotado que servirá de comparação, sendo este a melhor estimativa possível ao tempo em que foi adotado, considerando-se os recursos disponíveis para a obtenção desse padrão. As feições que podem ser utilizadas para fins de comparação entre o padrão adotado e o atributo a ser validado podem se apresentar no formato de pontos, linhas ou polígonos, sendo normalmente as do tipo ponto mais usadas.

Conforme Santos (2010), o controle de qualidade cartográfica tem como objetivos principais o de verificar inconsistências do dado ou informação dispostos em produtos cartográficos diversos. Com a detecção dessas inconsistências, pode-se definir as funcionalidades e não funcionalidades de um dado produto e até mesmo propor correções para melhoria da qualidade. Esse controle de qualidade pode ser realizado por meio da métrica exatidão que, conforme os autores Santos *et al.* (2016), é entendida como o nível de proximidade do valor mais provável em relação ao padrão para aquela variável.

Destaca-se, porém, que qualquer medida de posicionamento terrestre conterà incertezas, inclusive quando se realiza levantamentos GNSS dito precisos, normalmente por técnicas de ponto absoluto ou por ponto relativo, e conterà imprecisões geradas pela técnica utilizada, modelo empregado, forma de manuseio do equipamento pelo operador ou até mesmo pela qualidade e calibração do equipamento. Nessa linha, não é possível afirmar o valor exato para a posição de um ponto sobre a superfície terrestre que servirá de padrão para fins de comparação. O que existirá, de fato, será um valor mais provável para uma dada posição, sendo essa a melhor escolha dada as limitações de cunho financeiro, tecnológico ou temporal impostas para a obtenção e utilização de fontes de maior acurácia como padrão.

O governo de estado do Espírito Santo realizou um investimento de aproximadamente meio milhão de reais em processo licitatório para a aquisição de ortoimagens do satélite KOMPSAT, sensores 3/3A, obtidas por imageamento orbital entre os anos de 2019 e 2020, com tamanho do *pixel* no terreno de 0,5x0,5 m. Esse mapeamento faz parte das entregas do programa Reflorestar, que por sua vez está incluído no Plano Estadual de Monitoramento e Avaliação, coordenado pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e inserido no Sistema de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas (SiMAPP), que possui como

objetivo fomentar a tomada de decisão com base em informações fidedignas e confiáveis, aprimorar políticas públicas e aumentar a eficiência com uso de recursos públicos (IJSN, 2020).

As ortoimagens KOMPSAT 3/3A são disponibilizadas gratuitamente pré-processadas, com correções radiométricas e atmosféricas, por meio do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (Geobases), no endereço http://bit.ly/GEOBASES_KOMPSAT33A. Diante do exposto, o objeto do presente estudo foi avaliar a acurácia posicional dessas ortoimagens, do biênio 2019-2020.

ORTOIMAGENS DE REFERÊNCIA E DE TESTE

Para a escolha do produto cartográfico de melhor qualidade que serviu como padrão de referência na avaliação da acurácia posicional das ortoimagens KOMPSAT 3/3A, foi necessário realizar uma pesquisa por informações da geração e processamento das ortoimagens do levantamento aerofotogramétrico realizado no Espírito Santo (ES) nos anos de 2012-2015, as quais puderam ser encontradas na referência técnica disponibilizada pelo IEMA (2012) e pela posterior confirmação da qualidade do produto contratado pelo governo de estado do Espírito Santo.

Essas ortoimagens utilizadas como referência foram obtidas por técnicas fotogramétricas, entre os anos de 2012 e 2015, com a contratação de empresa especializada em Engenharia Cartográfica (HIPARC Geotecnologia) para a realização dos serviços de levantamento aerofotogramétrico, apoio de campo, aerotriangulação e elaboração de ortofotomosaicos de todo o território do estado. Com o levantamento aerofotogramétrico multiespectral, foram geradas ortoimagens com tamanho do *pixel* no terreno de 25x25 cm. Dos voos realizados, resultaram fotografias com resolução espacial de 0,25 m na banda pancromática e 0,55 m nas bandas vermelha, verde, azul e infravermelho próximo (RGB-NIR). Essas ortoimagens apresentam-se, após processamento realizado pela empresa contratada, no Sistema Geodésico de Referência (SGR) SIRGAS 2000, época 2000.4, projeção UTM Zona 24S, com precisão na escala de 1:10.000 com PEC “A” (IEMA, 2012).

Por seu turno, as ortoimagens de teste foram as adquiridas do satélite KOMPSAT 3/3A, posteriormente processadas e disponibilizadas como produtos ortofotomosaicos, que podem ser acessados e baixados nos formatos *Enhanced Compression Wavelet* (ECW), JPEG 2000 (jp2) ou GeoTIFF. Esses diferentes formatos possibilitam aos usuários optarem por formatos de menor tamanho de ortoimagens, na forma de arquivos comprimidos (ECW e jp2). A depender do trabalho a ser realizado e do equipamento computacional que processará os dados, poderá haver um ganho em eficiência com uso de dados comprimidos, uma vez que as ortoimagens em formato GeoTIFF, que são disponibilizadas sem compressão, apresentam-se com mais de 1 Gb por cena, o que pode comprometer os trabalhos de processamento digital para grandes áreas de estudo.

Cabe ainda destacar que o formato ECW, ainda que seja proprietário, é suportado pelos principais SIG do mercado, estando incluído no GDAL, o que possibilita a manipulação dessas ortoimagens, por exemplo, no QGIS. A

articulação dos ortofotomosaicos seguiu o padrão da utilizada no aerolevantamento ES 2012-2015, com blocos de 10.000x10.000 m (IJSN, 2021).

PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC-PCD)

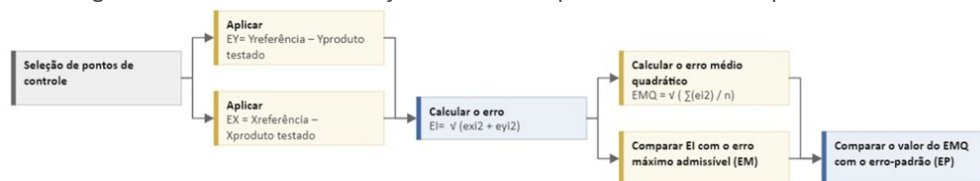
A qualidade posicional de um produto cartográfico é determinada de acordo com o Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984, e a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) (DSG, 2016). A ET-CQDG estabelece o padrão de qualidade que um produto cartográfico deve alcançar, além dos procedimentos necessários para avaliar a acurácia posicional, detalhando e operacionalizando os métodos descritos no Decreto-lei. Para tanto, as seguintes condições devem ser atendidas (DSG, 2016):

a) 90% dos pontos coletados no produto cartográfico testado em relação às coordenadas dos pontos homólogos coletados na fonte de maior precisão devem apresentar valores de componente horizontal dos erros (e_i) iguais ou inferiores ao Erro Máximo admissível (EM) do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelecido para a respectiva classe e escala; e

b) o Erro Médio Quadrático (EMQ) das amostras deve resultar em valor igual ou inferior quando comparado ao Erro Padrão (EP) previsto para cada produto.

Assim, no conjunto normativo brasileiro atual, em suma, parte-se de dois parâmetros principais para o cálculo da acurácia posicional – o Erro Máximo admissível e o Erro-Padrão –, sendo seus valores máximos estabelecidos com base na escala e no tipo de produto avaliado. A Figura 1 descreve o fluxo de trabalho utilizado para o cálculo do PEC-PCD. Para a realização desse cálculo e obtenção da respectiva classe PEC-PCD para as ortoimagens KOMPSAT 3/3A testadas, optou-se pela utilização do *software* GeoPEC 3.6, lançando em sua última versão de 2023, desenvolvido por Santos et al. (2016).

Figura 1 – Processo de avaliação da acurácia posicional absoluta planimétrica

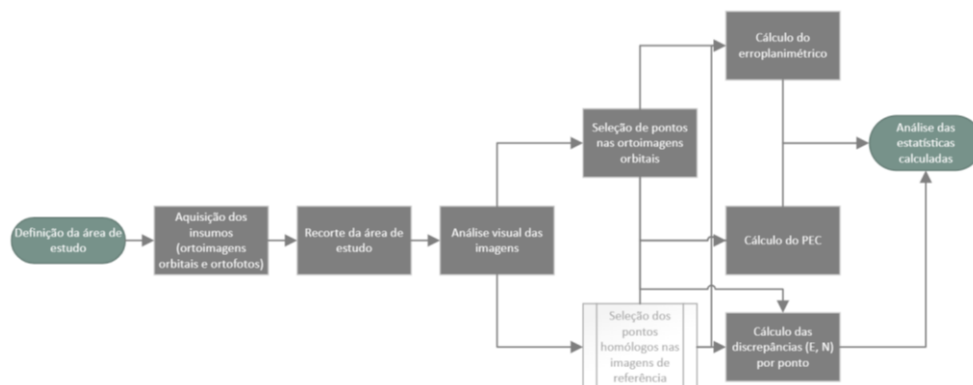


Fonte: Adaptado de DSG (2016).

MATERIAL E MÉTODOS

As ortoimagens KOMPSAT 3/3A e aerofotos do levantamento aerofotogramétrico 2012-2015 foram obtidas por meio do Geobases. Em seguida, realizou-se uma análise visual da área de estudo, para definição de pontos visíveis em ambas as ortoimagens. Foi então realizada a seleção dos conjuntos amostrais de pontos nas ortoimagens KOMPSAT e seus homólogos nas aerofotos de referência. Executou-se o cálculo de discrepâncias, erro planimétrico e posteriormente foi possível o cálculo do PEC-PCD. Por fim, foi realizada a análise de todas as estatísticas calculadas na etapa anterior. O fluxo de trabalho geral adotado pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxo de trabalho geral aplicado para classificação PEC-PCD e verificação da qualidade posicional das ortoimagens KOMPSAT 3/3ª



Fonte: Autoria própria (2025).

MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes *softwares*:

a) QGIS 3.28.6, empregado para extração das coordenadas dos pontos homólogos nas ortoimagens de referência e teste, bem como para a plotagem de mapas; e

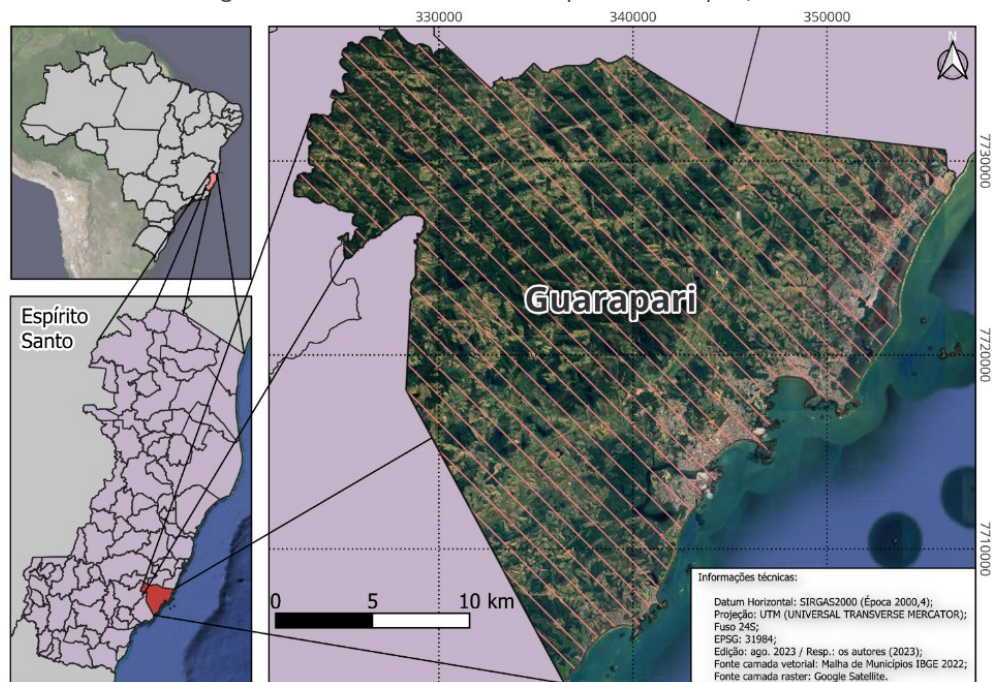
b) GeoPEC 3.6, utilizado para o cálculo do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) e demais análises estatísticas.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 3) abrange o Município de Guarapari, localizado no litoral sul do Espírito Santo, a aproximadamente uma hora da capital, Vitória. Guarapari faz parte da Região Metropolitana de Vitória e está situado entre as coordenadas 20° 33' S e 20° 42' S (latitude) e 40° 31' O e 40° 37' O (longitude). O clima predominante é quente e úmido, com uma estação chuvosa no verão. A altimetria varia significativamente, desde 0 m (nível do mar) até 700 m nas áreas mais altas (CUNHA, 2003).

Segundo o último censo do IBGE (2022), o município possui 132.915 habitantes. A ocupação da região teve início em 1553, liderada pelo padre José de Anchieta, em uma missão jesuíta para catequizar os povos indígenas locais. Guarapari tornou-se oficialmente um município em 1891. Um marco importante em seu desenvolvimento ocorreu a partir de 1960, quando a população cresceu rapidamente, passando de pouco mais de 10.000 habitantes para mais de 100.000 em 2010, representando um aumento de cerca de 1.000% em 50 anos (GIRARDI; COMETTI, 2006).

Figura 3 – Área de estudo: Município de Guarapari/ES

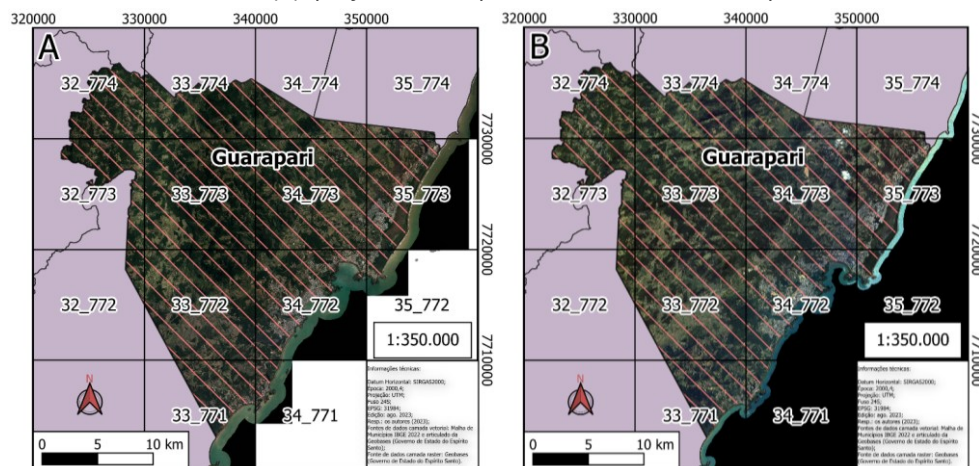


Fonte: Autoria própria (2025).

INSUMOS UTILIZADOS

Os insumos usados neste estudo foram obtidos por meio do link https://geobases.s3.es.gov.br/minio/public/ORTOMOSAICO_ES_2019_2020_IMG_KOMPSAT_3_3A/ORTOMOSAICO_ES_2019_2020_IMG_KOMPSAT_3_3A_EC_W/ (ortoimagens de teste) e do link https://geobases.s3.es.gov.br/minio/public/MAP_ES_2012_2015/IMG_ECW/ (ortoimagens de referência). Essas ortoimagens estão disponíveis para *download* livre e gratuito, já pré-processadas, ortorretificadas e corrigidas de distorções, acessíveis em blocos de dimensões 10x10 km. As ortoimagens obtidas foram as necessárias para cobrir todo a área de estudo e, seguindo a articulação própria do mapeamento ES, as de número 29-768, 30-768, 31-768, 29-767, 30-767, 29-766 e 30-766, conforme disposto na Figura 4.

Figura 4 – Articulado de ortoimagens de voo aerofotogramétrico 2012-2015 (A) e orbitais KOMPSAT 3/3A (B): projetos de mapeamento do estado do Espírito Santo



Fonte: Autoria própria (2025).

COLETA DE PONTOS DE CONTROLE

A fim de analisar a exatidão posicional dos dados geoespaciais, empregou-se uma seleção de amostras de pontos de controle. As posições de pontos visíveis na imagem a serem validadas foram cotejadas com as posições dos pontos da amostra de verificação na imagem de referência, resultando em um conjunto de discrepâncias de posição, tanto para a componente E, quanto para a componente N, da projeção UTM. Essas discrepâncias foram empregadas para categorizar a precisão posicional dos dados espaciais conforme o padrão predefinido em instrumento normativo.

Conforme os autores Santos et al. (2016), um erro comum na avaliação da qualidade posicional é a falta de execução de uma boa distribuição dos pontos amostrados na área de estudo do produto a ser avaliado. Para essa distribuição, ainda que se deva realizar uma análise visual da distribuição do conjunto amostral, essa análise não pode ser única, pois deve-se estabelecer critérios objetivos para a dispersão dos pontos a serem coletados. Um conjunto de elementos amostrais de padrão de distribuição espacial não disperso pode comprometer a avaliação da acurácia posicional, uma vez que dados agrupados em uma dada região serão representativos apenas dessa região, não podendo ser estendida para toda a área de estudo. Ou seja, nesse caso ter-se-ia amostras não representativas dos dados da população, o que é algo indesejável quando se trata de amostragem para verificação da acurácia posicional relacionada a testes de qualidade de todo o produto, e não apenas de parte dele.

Seguindo os ditames da norma ET-CQDG (2016) e os procedimentos nela impostos, em que o produto cartográfico a ser testado deve ser dividido em células de 4x4 cm na escala do produto e dentro dessas células realizar a seleção de um ponto de verificação por célula válida, ou seja, que apresente pelo menos uma feição capaz de ter suas coordenadas extraídas nas ortoimagens trabalhadas. Partindo-se do princípio que a maior escala a ser avaliada no presente estudo será a de 1:10.000, por questão de limitações das próprias ortoimagens de referências (padrão adotado) que somente foram avaliadas para essa escala e para escalas inferiores, as ortoimagens de teste KOMPSAT 3/3A

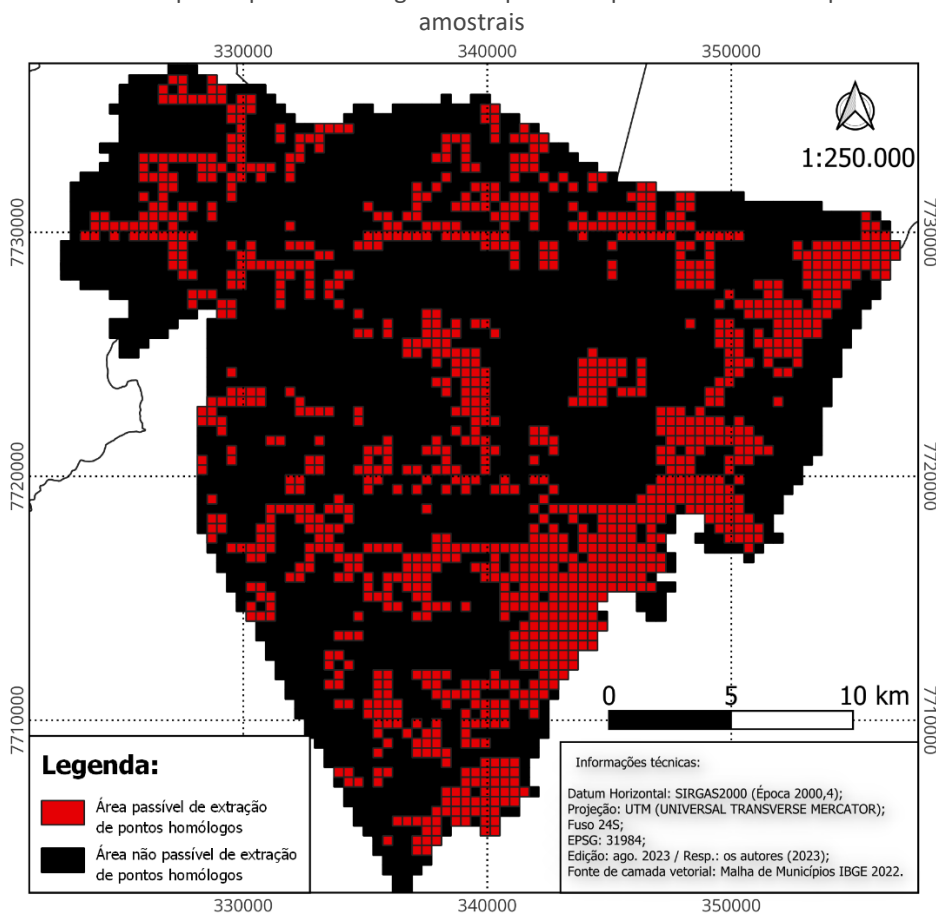
foram divididas em células de 400x400 m, com o auxílio da geração de *grids* no QGIS. O tamanho das células pode ser obtido pela aplicação direta da Eq. (1).

$$Tamanho_{célula} = 0,04 \cdot \frac{1}{E} \quad (1)$$

em que E é a maior escala que será avaliada.

Após a geração das células, foram analisadas 3.898 células, a fim de verificar qual dessas eram passíveis de coleta de pontos de controle, por conter feições observáveis e coletáveis nas ortoimagens de teste e referência. Para aumentar a dispersão dos pontos de controle, foram extraídas, no máximo, um ponto amostral por célula. A Figura 5 permite verificar as células amostrais distribuídas por toda a área de estudo, bem como a distribuição das células válidas para comporem o processo de amostragem de regiões válidas para a coleta e extração dos pontos de controle.

Figura 5 – Células 400x400 m definidas para o plano amostral. Células inválidas foram descartadas pois representam regiões em que não é possível a coleta de pontos amostrais



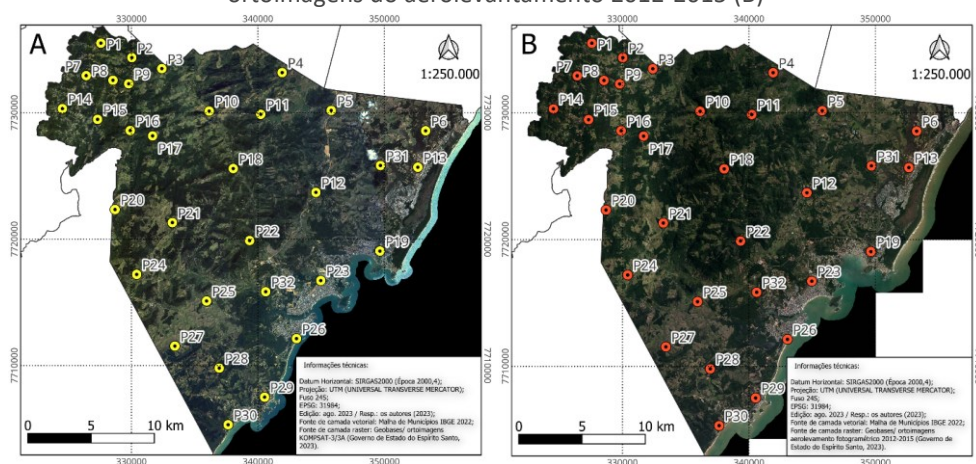
Fonte: Autoria própria (2025).

Com o número total de 1.195 células válidas, adotou-se o Limite de Qualidade Aceitável (LQA) de 4% recomendado pela ET-CQDG para produtos ortoimagens, e procedeu-se a conversão desse valor para a Qualidade Limite (QL) a fim de poder aplicar o procedimento de amostragem a produtos isolados e

determinar o tamanho da amostra, conforme o que preconiza a ET-CQDG (2016), que tomou por base os procedimentos indicados pela ISO 2859-2. Dessa análise, chegou-se ao tamanho da amostra de 32 elementos necessários para a verificação da acurácia posicional no Município de Guarapari/ES. Assim, para a realização da avaliação do PEC-PCD, foram coletados 32 pontos de controle, aleatórios, dispersos por toda a área de estudo, tanto nas ortoimagens a serem testadas, quanto nas ortoimagens de referência. Esses pontos podem ser observados na Figura 6, que permite verificar visualmente que as amostras geradas foram satisfatórias, à medida que se apresentam dispersas e aleatoriamente distribuídas por toda a área de estudo.

A extração das coordenadas UTM (E, N), Zona 24S, no SIRGAS 2000, época 2000,4, de cada um dos pontos, foi realizada de forma manual, com o auxílio do aplicativo QGIS. Conforme prescreve a norma ET-CQDG (2016), o tamanho da amostra na avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos deve levar em consideração, em especial, a quantidade de objetos visíveis e a distribuição espacial desses objetos, sendo importante também a forma com o qual serão selecionados os itens para compor o conjunto amostral.

Figura 6 – Pontos de controle: ortoimagens KOMPSAT 3/3A (A) e pontos homólogos nas ortoimagens do aerolevanteamento 2012-2015 (B)



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 7, pode-se observar os 32 pontos amostrais coletados em áreas distintas das ortoimagens de teste e referência. Seguindo a recomendação constante da ET-CQDG (2016), os pontos foram coletados, em sua maioria, na quina de construções (P1-P16, P18, P20, P24, P25, P28, P29, P31 e P32). Também, houve a coleta de pontos em quina (encontro) de cercas (P22), quina de muros (P19, P21, P26, P30), quinas de poços de criação de peixes (P17), marca pintada ao nível do solo (P23) e encontro de valetas (P27). Os critérios utilizados para seleção desses pontos nas ortoimagens foi o de pertencer a célula 400x400 m diversa (no máximo um ponto amostral por célula) e ser um ponto capaz de observação e extração de coordenadas nas duas ortoimagens de trabalho (teste e referência).

Figura 7 – Pontos de controle coletados nas ortoimagens de teste (A) e referência (B)
(continua)



Figura 7 – Pontos de controle coletados nas ortoimagens de teste (A) e referência (B) (conclusão)



Fonte: Autoria própria (2025).

No Quadro 1, é possível a visualização das coordenadas projetadas UTM, Zona 24S, do SGR SIRGAS 2000 (época 2000,4) dos 32 pontos coletados.

Quadro 1 – Coordenadas dos pontos coletados nas ortoimagens de referência e de teste

ID ponto	Coordenadas UTM (imagem de referência)		Coordenadas UTM (imagem KOMPSAT- 3/3A)	
	E	N	E	N
P1	327574,8921	7735500,2425	327575,2834	7735500,2522
P2	330024,6751	7734356,6823	330026,3383	7734356,7508
P3	332396,8934	7733483,1896	332400,1807	7733483,2288
P4	341913,7675	7733169,7611	341913,7871	7733169,2132
P5	345796,2268	7730174,6775	345796,3442	7730173,8948
P6	353262,8228	7728557,6383	353261,9619	7728563,4889
P7	326417,8990	7732926,9509	326416,7445	7732927,9879
P8	328535,4298	7732562,4126	328535,2047	7732563,2540
P9	329778,0786	7732286,6511	329779,2722	7732286,3185
P10	336142,4405	7730126,5322	336142,9297	7730125,2016
P11	340220,5530	7729868,8508	340221,5705	7729868,2638
P12	344582,7235	7723689,5463	344583,3887	7723690,7203
P13	352644,6341	7725681,2399	352644,7515	7725683,8620
P14	324536,9365	7730316,5695	324535,2929	7730317,7240
P15	327315,6453	7729469,4046	327315,0192	7729471,0482
P16	329895,8246	7728585,5902	329895,8344	7728585,3945
P17	331669,5095	7728162,6730	331670,7031	7728163,0839
P18	338045,3477	7725577,6606	338046,1695	7725576,0757
P19	349646,9969	7719049,8434	349647,8187	7719049,4130
P20	328697,1043	7722333,2312	328697,3196	7722333,8965
P21	333229,9797	7721304,6973	333232,4060	7721302,5840
P22	339337,8245	7719883,2917	339339,3116	7719881,3937
P23	344966,7409	7716715,8009	344967,3671	7716716,3292
P24	330408,2816	7717203,4368	330409,0252	7717203,2998
P25	335933,5110	7715099,0161	335933,4719	7715099,6031
P26	343048,8648	7712124,1944	343048,8061	7712123,4312
P27	333426,8313	7711531,3648	333428,0053	7711531,5409
P28	336943,8327	7709794,0114	336943,2897	7709792,7346
P29	340526,9324	7707492,2842	340527,5634	7707493,4729
P30	337640,1389	7705311,0864	337640,0802	7705309,4428
P31	349687,4497	7725817,3621	349688,1582	7725819,1744
P32	340611,9215	7715839,0067	340613,0389	7715837,5351

Fonte: Autoria própria (2025).

Por meio das coordenadas (E, N) dispostas no Quadro 1, e da aplicação das Eq. (2) e Eq. (3), pôde-se chegar às discrepâncias apresentadas na Tabela 1.

$$\Delta_E = E_{\text{referência}} - E_{\text{teste}} \quad (2)$$

$$\Delta_N = N_{\text{referência}} - N_{\text{teste}} \quad (3)$$

sendo $N_{\text{referência}}$ e $E_{\text{referência}}$ as coordenadas UTM dos pontos coletados nas ortoimagens de referência, N_{teste} e E_{teste} as coordenadas UTM dos pontos coletados nas ortoimagens testadas, Δ_E a discrepância na coordenada E e Δ_N a discrepância na coordenada N .

Tabela 1 – Discrepâncias e erro planimétrico nas coordenadas UTM (E, N)

ID Ponto	Δ_E	Δ_N	Erro _{plan}
P1	-0,3913	-0,0098	0,3915
P2	-1,6632	-0,0685	1,6646
P3	-3,2873	-0,0391	3,2875
P4	-0,0196	0,5479	0,5482
P5	-0,1174	0,7827	0,7914
P6	0,8610	-5,8506	5,9136
P7	1,1545	-1,0371	1,5519
P8	0,2250	-0,8414	0,8710
P9	-1,1936	0,3326	1,2391
P10	-0,4892	1,3306	1,4176
P11	-1,0175	0,5870	1,1747
P12	-0,6653	-1,1740	1,3494
P13	-0,1174	-2,6220	2,6246
P14	1,6437	-1,1545	2,0086
P15	0,6262	-1,6437	1,7589
P16	-0,0098	0,1957	0,1959
P17	-1,1936	-0,4109	1,2624
P18	-0,8218	1,5849	1,7853
P19	-0,8218	0,4305	0,9277
P20	-0,2152	-0,6653	0,6992
P21	-2,4263	2,1133	3,2176
P22	-1,4871	1,8980	2,4112
P23	-0,6262	-0,5283	0,8193
P24	-0,7436	0,1370	0,7561
P25	0,0391	-0,5870	0,5883
P26	0,0587	0,7631	0,7654
P27	-1,1740	-0,1761	1,1872
P28	0,5430	1,2768	1,3874
P29	-0,6310	-1,1887	1,3458
P30	0,0587	1,6437	1,6447
P31	-0,7086	-1,8123	1,9459
P32	-1,1173	1,4716	1,8477

Fonte: Autoria própria (2025).

Para o cálculo do erro planimétrico, constante da última coluna da Tabela 1, fez-se uso das discrepâncias e da Eq. (4).

$$\text{Erro}_{\text{planimétrico}} = \sqrt{(\Delta_E)^2 + (\Delta_N)^2} \quad (4)$$

VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL

A avaliação das ortoimagens KOMPSAT 3/3A foi realizada empregando-se o prescrito pelo Decreto-Lei 89.817 de 1984, e pela ET-CQDG, versão 2016, para a verificação da acurácia e precisão da componente planimétrica. Já para a verificação da tendência, foi utilizada a metodologia proposta por Santos et al. (2016) e implementada no GeoPEC. Coletou-se nas ortoimagens KOMPSAT 3/3A 32 pontos de controle, e também seus homólogos nas ortoimagens de referência provenientes do levantamento aerofotogramétrico ES 2012-2015.

Os normativos de controle de qualidade brasileiros não especificam a quantidade mínima de pontos de controle a serem utilizados em trabalhos de aferição da qualidade, mas trazem um procedimento de cálculo por meio do emprego da ISO 2859-1 e 2859-2. Também, não existe um consenso por parte da comunidade acadêmica em relação a um número mínimo de pontos necessários para avaliação de produtos cartográficos. A *United States Geological Survey* (USGS), por exemplo, recomenda o mínimo de 28 pontos de controle por produto cartográfico a ser validado. Neste trabalho optou-se por seguir o procedimento da ET-CQDG (2016), disposto na subseção 2.4, o que gerou um quantitativo mínimo de 32 pontos de controle a serem coletados, sem possibilidade de descarte de algum elemento componente da amostra. Caso houvesse problema com qualquer desses pontos (por exemplo, de algum ser *outlier*), um novo ponto seria extraído para repô-lo.

Para realizar a avaliação, primeiramente obteve-se os valores das discrepâncias (Tabela 1) com relação à componente planimétrica. Essas discrepâncias foram obtidas, com o auxílio do *software* GeoPEC 3.6, tanto na componente “E” quanto na “N” da projeção UTM, por meio da diferença das coordenadas extraídas das ortoimagens de teste e de referência (Quadro 1). Assim, pôde-se calcular as discrepâncias para a componentes horizontais, além de executar as análises de tendência e precisão, com posterior classificação do produto no PEC correspondente, tomando-se como base os valores do PEC previstos na ET-CQDG (2016) para escalas cadastrais (1:10.000 e superiores) e topográficas (1:25.000 a 1:250.000).

Para a realização da análise de tendência, de posse dos valores de planimetria e suas respectivas discrepâncias, realizou-se o teste de Shapiro-Wilk, com o objetivo de verificar se as amostras seguiam uma distribuição normal, condição necessária para a aplicação do teste t de Student. O teste de normalidade foi realizado no GeoPEC 3.6, com nível de significância de 90%. Não houve possibilidade de aplicação do teste t de Student, pois a amostra coletada não seguiu uma distribuição gaussiana (normal). Assim, com o objetivo de verificar se o produto avaliado apresentava erros sistemáticos para as componentes horizontais, recorreu-se à metodologia proposta por Santos *et al.*

(2016), verificando-se a tendência nos dados por meio da média direcional e variância circular.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificação da acurácia posicional das ortoimagens KOMPSAT 3/3A, foi utilizado o *software* GeoPEC 3.6, que possibilita a avaliação do Padrão Exatidão Cartográfica para coordenadas planimétricas, conforme o que dispõe a ET-CQDG, versão 2016, e o Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984. O PEC foi calculado para diferentes escalas, partindo-se das coordenadas planimétricas dos pontos de controle distribuídos na área de estudo e extraídos tanto na imagem de teste, quanto os seus homólogos na imagem de referência.

Para a avaliação do PEC na escala de 1:10.000, primeiro verificou-se se 90% ou mais dos pontos amostrais apresentavam valores de discrepâncias posicionais iguais ou inferiores ao valor da tolerância EM de 2,8 metros, tabelado na ET-CQDG (2016), sendo verificado que 90,625% dos pontos analisados cumpriam o critério normativo. Para as escalas de 1:25.000 e inferiores, 100% dos pontos amostrais cumpriram o critério EM. Na avaliação do EP, para a escala 1:10.000 e classe PEC-PCD “A”, o Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square*, RMS) deveria ser inferior a 1,7 m, o que não foi atendido, uma vez que foram obtidos, para o conjunto amostral, RMS, nas componentes E, N e posicional (2D), respectivamente, de 1,087 m, 1,534 m e 1,88 m. Assim, para essa escala, o PEC-PCD atendido foi o de classe B, em que é previsto um EP igual ou inferior a 5 m. Para as escalas de 1:25.000 e inferiores, houve completo atendimento aos valores EP tabelados para a classe PEC-PCD A. Os valores de PEC-PCD alcançados pelas ortoimagens KOMPSAT 3/3A estão dispostos no Quadro 2.

Quadro 2 – Classes conforme o PEC-PCD (DSG, 2016), para a escala cadastral 1:10.000 e escalas topográficas (1:25.000 a 1:250.000)

Produto avaliado	1:10.000	1:25.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000
Ortoimagens KOMPSAT sensores 3/3A	B	A	A	A	A

Fonte: Autoria própria (2025).

O PEC classe A para a escala de 1:25.000 e menores demonstra o potencial de uso desse tipo de produto em trabalhos ao nível topográfico, no que tange à acurácia posicional. Para a escala de 1:10.000 obteve-se a classe PEC B, que pode ser considerado um nível de acurácia bom, mas não excelente. Assim, caso haja a necessidade de algum trabalho cadastral nesta escala ou em escalas superiores (por exemplo 1:1.000, 1:2.000 ou 1:5.000), deve-se atentar para a exatidão cartográfica exigida para o trabalho a ser executado. Destaca-se que para as grandes escalas de 1:5.000 e superiores não foi possível realizar o cálculo da exatidão para classificação do PEC-PCD por limitações das ortoimagens de referência utilizadas, que somente receberam classificação (oficial e homologada) na escala 1:10.000 e inferiores.

Em outras palavras, como as ortoimagens de referência do voo aerofotogramétrico 2012-2015 apresentam apenas a classificação inicial no PEC 1:10.000 (classe A), não foi possível avaliar as ortoimagens do KOMPSAT 3/3A em escalas grandes. Entretanto, da Classe PEC obtida para as ortoimagens KOMPSAT

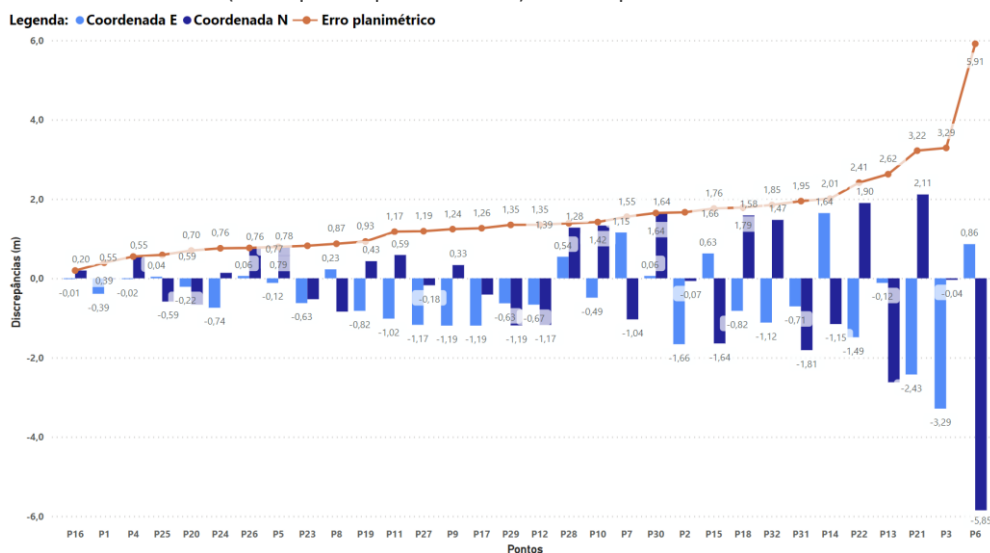
3/3A para a escala 1:10.000 (Classe B), pode-se inferir que em escalas superiores, ao nível cadastral, haveria uma degradação da Classe PEC ou, no máximo, seria mantido o PEC B. Assim, para essas escalas grandes, deve-se ter uma maior cautela na utilização dos insumos KOMPSAT 3/3A, pois, a depender do PEC exigido em um determinado trabalho cartográfico, haverá a necessidade de utilização de outros insumos de melhor qualidade posicional.

Por outro lado, para as escalas topográficas (1:25.000 e inferiores), obteve-se PEC classe A, o que demonstra que para trabalhos nessas escalas, no que concerne à acurácia posicional, as ortoimagens KOMPSAT 3/3A são capazes de atingir a qualidade máxima posicional prescrita pelas normas brasileiras de controle de qualidade (ET-CQDG e Decreto-lei 89.817).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

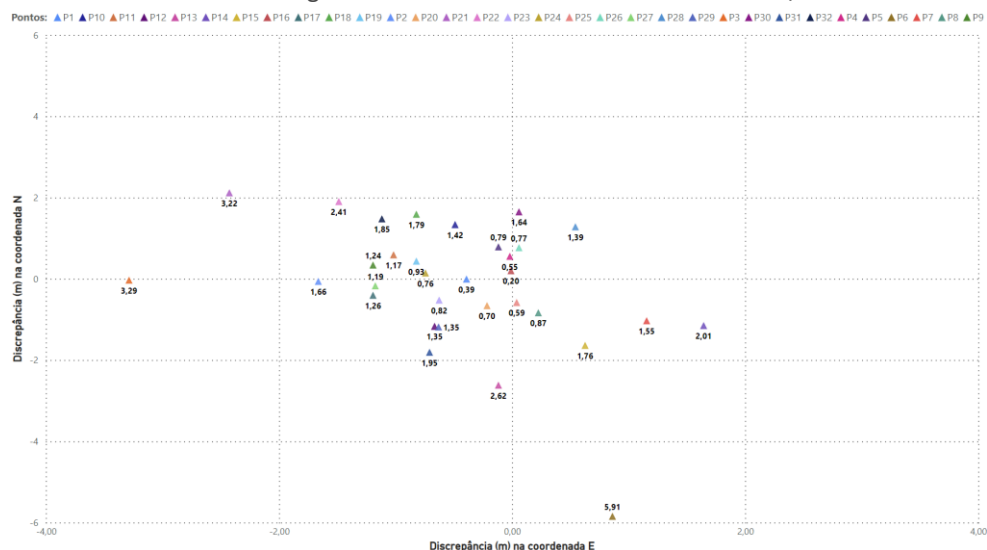
As Figura 8 e Figura 9 apresentam as discrepâncias obtidas nas coordenadas UTM (E, N) e o erro planimétrico obtido em cada um dos pontos coletados nas ortoimagens KOMPSAT 3/3A e seus homólogos nas ortoimagens de referência. Pode-se observar que o ponto P16 apresentou a menor discrepância E, com 1 cm ao nível do terreno, bem como obteve o menor erro planimétrico, de cerca de 20 cm. O ponto P1 apresentou a menor discrepância N, com valor absoluto de menos de 1 cm. Por outro lado, o ponto P3 apresentou a maior discrepância E, de 3,29 m. Por sua vez, o ponto P6 obteve a maior discrepância na componente N, de valor 5,85 m, bem como teve o maior erro planimétrico, de 5,91 m.

Figura 8 – Discrepâncias e erro planimétrico obtidos da análise das ortoimagens de voo aerofotogramétrico 2012-2015 e orbitais KOMPSAT 3/3A, ordenado em ordem crescente (da esquerda para a direita) do erro planimétrico



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 9 – Discrepâncias (eixos coordenados) e erro planimétrico (valores apresentados junto aos triângulos representativos dos pontos) obtidos da análise das ortoimagens de voo aerofotogramétrico 2012-2015 e orbitais KOMPSAT 3/3A

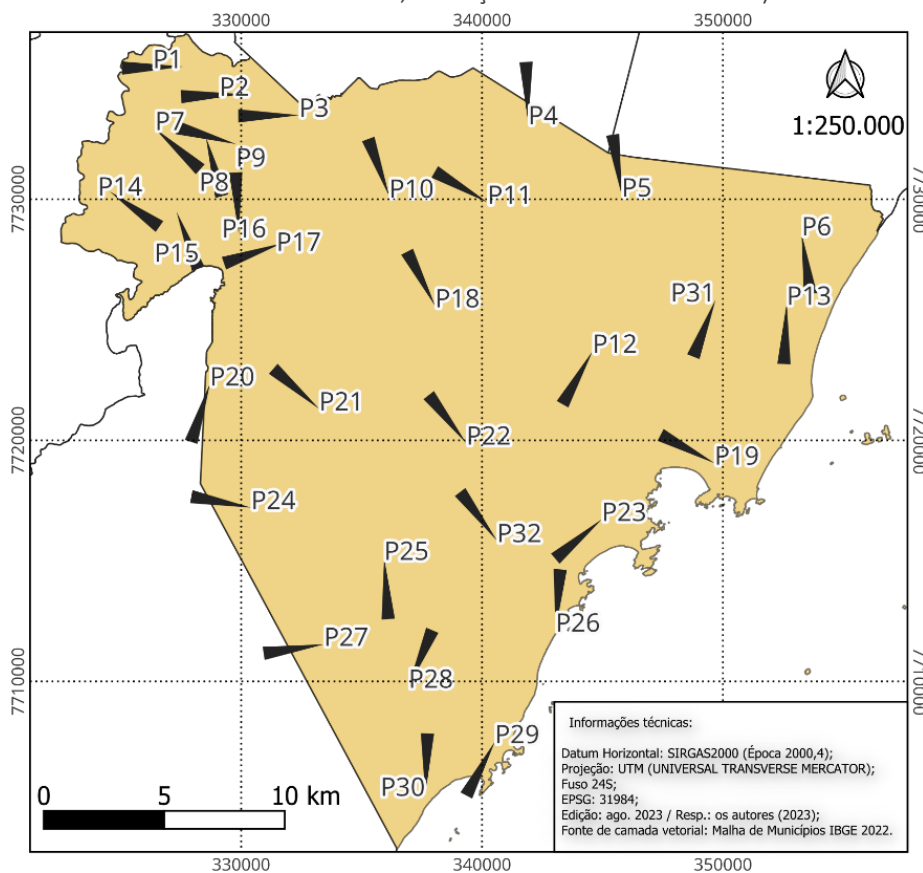


Fonte: Autoria própria (2025).

Na análise de tendência, apesar dos normativos brasileiros em vigência que regem a avaliação da acurácia posicional não terem trazido a obrigatoriedade dessa análise, alguns autores, como Santos *et al.* (2016), ressaltam a importância dessa avaliação, pois um produto cartográfico pode ser preciso, acurado conforme as normas vigentes, contudo ainda assim apresentar problema na qualidade por ser tendencioso. Essa análise é importante pois a tendência nos dados, normalmente ocasionada por erros sistemáticos não corrigidos no momento da obtenção da imagem ou posteriormente no pós-processamento, pode ocasionar a geração de produtos cartográficos com vícios que posteriormente causem análises e tomada de decisões errôneas por parte dos usuários desses produtos. A tendência em dados espacial pode ser ocasionada por erros na transformação de Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) e, no caso específico desse trabalho, quando da transformação do sistema em que as ortoimagens do satélite KOMPSAT 3/3A foram obtidas para o SGR oficial do Brasil (SIRGAS 2000, época 2000,4) ou da realização da projeção UTM Zona 24S, que abrange o estado do Espírito Santo, bem como com a utilização de sensores orbitais não calibrados etc.

Nas análises de tendência realizadas na área de estudo com as ortoimagens KOMPSAT 3/3A, e com a aplicação do GeoPEC 3.6, se constatou a não tendenciosidade dos dados posicionais das ortoimagens, por meio de estatísticas espaciais de média direcional e de variância circular. A média direcional visa obter uma medida de tendência central da direção de um conjunto de vetores, pelas discrepâncias nas ordenadas e abscissas (WONG; LEE, 2005). No presente estudo, foram obtidas uma média direcional de 94,265º e variância circular de 0,7099, o que indica que os vetores que saem do ponto de referência e chegam no ponto homólogo no produto avaliado seguem direções aleatórias, o que pode ser observado na Figura 10. Apesar da média direcional indicar uma tendência de direção, a variância circular mais próxima de 1 do que de 0 (intervalo de variação da variância circular) indica que essa média não é representativa da tendência de direção dos dados analisados.

Figura 10 – Vetores direcionais do deslocamento de pontos, com início nos pontos de referência e final nos homólogos obtidos nas ortoimagens KOMPSAT 3/3A (tamanho dos vetores fora de escala, indicação meramente direcional)



Fonte: Autoria própria (2025).

CONCLUSÃO

O presente estudo se propôs a verificar a acurácia posicional de ortoimagens KOMPSAT 3/3A adquiridas pelo governo de estado do Espírito Santo e disponibilizadas para *download* gratuito em portal próprio desse estado. Essas ortoimagens possuem pior resolução espacial (0,5 m) quando comparadas ao último levantamento aerofotogramétrico realizado no ES (resolução espacial de 0,25 m). Entretanto, este levantamento aerofotogramétrico é datado de 2012-2015, enquanto as ortoimagens KOMPSAT 3/3A adquiridas são mais recentes, do biênio 2019-2020, possuindo, por conseguinte, melhor resolução temporal.

Destaca-se também que as ortoimagens KOMPSAT 3/3A foram adquiridas por um custo relativamente baixo quando comparado ao custo de realização de procedimento licitatório de contratação de empresa para executar um voo aerofotogramétrico. Com um olhar crítico para a redução dos gastos governamentais (atendimento ao princípio da economicidade de recursos públicos), em que o governo deve buscar reduzir custos sem, no entanto, perder a eficácia e a eficiência no alcance dos resultados esperados pela sociedade, pode-se dizer que o presente trabalho permitiu mostrar que essas ortoimagens orbitais constituem-se em um produto com acurácia posicional suficiente para serem empregadas tanto diretamente em análises de áreas do Espírito Santo,

quanto podem ser utilizadas como insumo para a elaboração de outros produtos cartográficos de interesse.

Por fim, ressalta-se a importância da avaliação da qualidade das ortoimagens KOMPSAT 3/3A realizada neste estudo, uma vez que sem essa verificação não se pode garantir a qualidade posicional dos produtos derivados desses insumos ou das análises realizadas diretamente nas ortoimagens, pois o erro posicional poderá se propagar em toda a cadeia de produção cartográfica e de geração de informações. Além disso, este estudo e outros trabalhos futuros de avaliação da acurácia posicional das ortoimagens KOMPSAT 3/3A em áreas de estudo diversas servem de base para que se tenha uma maior confiabilidade na realização de análises e confecção de produtos cartográficos que tenham por base esses insumos. Possibilita ainda uma maior integração dos dados orbitais obtidos nos anos de 2019 e 2020, mais atuais, com os do levantamento aerofotogramétrico 2012-2015, menos atuais, porém de maior resolução espacial.

Positional accuracy of KOMPSAT 3/3A orthoimages: a case study in Guarapari/ES

ABSTRACT

This study evaluated the positional accuracy of orthoimages from the KOMPSAT 3/3A satellite, obtained between 2019 and 2020 for Espírito Santo, acquired by the state government and made available free of charge in a digital repository. The evaluation followed the Brazilian regulations that establish the procedures and standards for digital cartographic products, with a focus on the validation of orthoimages. Positional quality control was carried out based on Decree No. 89,817, of June 20, 1984, and on the Technical Specification for Quality Control of Geospatial Data (ET-CQDG), version 2016. Methods of analysis of the spatial distribution pattern of geospatial data were applied, as well as trend analysis, using the directional mean of the vectors and circular variance. From the discrepancies found between the points manually extracted in the evaluated orthoimages and their counterparts in products of greater accuracy, the necessary statistical calculations were performed to verify the quality of the orthoimages in a study area that covers the municipality of Guarapari/ES. The most relevant test performed was the classification in the Cartographic Accuracy Standard (PEC), with the evaluated orthoimages reaching the PEC class "B" on the scale 1:10,000 and the PEC class "A" for scales of 1:25,000 and lower, which allowed us to conclude that the KOMPSAT 3/3A orthoimages present high positional quality for mapping at topographic scales in the analyzed region.

KEYWORDS: Positional Accuracy. KOMPSAT 3/3A Orthoimages. Cartographic Accuracy Standard.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984.** Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 5 ago. 2023.

CUNHA, A. de M. **Ambientes, solos e uso com vista ao potencial de produção de água em microbacias (Mata Atlântica) do município de Guarapari, ES.** Tese (Magister Scientiae). Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2003. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/10794>. Acesso em: 26 set. 2024.

Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). **ET-CQDG:** Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais. Brasil, 2016. Disponível em: https://bdgex.eb.mil.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=81&Itemid=353&lang=pt#:~:text=ET%2DEDGV%203.0,para%20Governo%20Elet%C3%B4nico%20no%20Brasil. Acesso em: 02 jun. 2023.

FERREIRA, R. D.; SILVA, L. S. L.; COELHO, A. L.; MARANHÃO, M. R. A.; OLIVEIRA, L. F.; SOARES, R. A. Avaliação da qualidade posicional de ortoimagens Rapideye. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, 2016. DOI. https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2016_n1_art_5.

GIRARDI, G.; COMETTI, R. de S. **Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral sul do estado do Espírito Santo, Brasil.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, Editora UFPR, n. 13, p. 51-73, jan. /jun. 2006. DOI. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v13i0.3114>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico.** 2022. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Previa_da_Populacao/POP2022_Municipios_20230622.pdf. Acesso em: 08 ago. 2023.

Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Governo do Estado do Espírito Santo. **Referência técnica:** ortofotomosaicos 2012-2015. Contrato 001/2012. Disponível em: https://geobases.s3.es.gov.br/public/MAP_ES_2012_2015/MAP_ES_2012_2015_REFERENCIA_TECNICA.pdf. Acesso em: 2 ago. 2023.

Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Governo do Estado do Espírito Santo. **Imageamento da cobertura florestal do Espírito Santo.** set. 2020. Disponível em: <https://ijsn.es.gov.br/noticias/governo-divulga-novo-imageamento-da-cobertura-florestal-do-espírito-santo>. Acesso em: 01 ago. 2023.

Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Governo do Estado do Espírito Santo. **Imageamento ES 2019-2020 disponível para download**. 2021. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/imagens-kpst-2019-2020>. Acesso em 08 ago. 2023.

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, 2009. pp. 469-483. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/225655>. Acesso em: 05 abr. 2025.

SANTOS, A. P. **Avaliação da acurácia posicional em dados espacial com o uso de estatística espacial**, p. 110. (Magister Scientiae). Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2010. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/932eacff-2d3b-46f6-b4d3-f510d6ad5ed3>. Acesso em: 26 set. 2024.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JÚNIOR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, 2016. pp. 630-650. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400036>.

WONG, D. W. S.; LEE, J. Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and ArcGIS. **John Wiley & Sons**, 2005.

Recebido: 26 set. 2024

Aprovado: 19 mai. 2025

DOI: 10.3895/rbgeo.v13n1.19220

Como citar: DALMONECH, R. F.; SILVANO, T. P.; PASSOS, J. B.; SILVA, T. A.; PADILHA, T. K. Acurácia posicional de ortoimagens KOMPSAT 3/3A: estudo de caso em Guarapari/ES. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 092-113, jan./jun. 2025. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Renan Fabres Dalmonech

Rua Goiânia, 1253, CEP 82940-150, Curitiba, Paraná, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

