USO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO EM MAPEAMENTOS URBANOS: UMA ANÁLISE NO MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO – PR[1]

Josielle Samara Pereira[2]

Rafaela Harumi Fujita[3]

RESUMO

Existem disponíveis no mercado, diferentes fontes de dados que agregam de forma digital a altimetria do terreno, porém muitos destes produtos não possuem a escala de análise necessária para gerar dados confiáveis, principalmente para áreas urbanas. Desta forma, o presente artigo visa através da elaboração de diferentes produtos cartográficos, apresentar uma comparação de dados gerados a partir de diferentes modelos tridimensionais disponíveis, verificando as adequadas possibilidades de usos para a área urbana de Francisco Beltrão/PR. Assim, selecionou-se o bairro Cristo Rei para a geração dos mapas a serem comparados, sendo elaborados os mapas: hipsométrico e clinográfico. Foi realizada a comparação de qual melhores representa a superfície entre os dados dos seguintes MDE: ASTER Global DEM (Global Digital Elevation Model); ALOS (Advanced Land Observing System); SRTM; WORLDDEM. Após a comparação foi possível perceber que os dados do WORLDDEM são os que mais se aproximam do MDE de referência gerado a partir do levantamento planialtimétrico. No entanto ressalta-se, a necessidade de realização de pesquisas futuras, submetendo-se a comparação dos MDE analisados em áreas urbanas que apresentem outros aspectos de relevo, formação vegetal e de áreas edificadas, variando assim os fatores altimétricos que influenciam a coleta e a representação de dados fornecidos pelos modelos de elevação disponíveis no mercado.

PALAVRAS-CHAVES: MDE, Geoprocessamento, Altimetria.

INTRODUÇÃO

A espacialização de informações geográficas da paisagem, através de processos de representação vem auxiliando a sociedade ao longo dos anos. Devido à importância da obtenção de dados precisos de aspectos físicos e humanos da paisagem os processos de levantamento de informações e as formas de representação foram evoluindo ao longo do tempo. Nesse sentido, o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos e de sistemas computacionais potencializaram significativos avanços.

Assim, a Cartografia, como ciência responsável pela padronização das formas de representações da superfície terrestre faz-se importante, pois gera produtos para diversas

---

[1]O presente artigo corresponde a uma pesquisa realizada como requisito final da disciplina de Estágio Supervisionado.

[2]Discente do curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Francisco Beltrão/PR.

[3] Docente do curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Francisco Beltrão/PR, e orientadora de Estágio Supervisionado.

finalidades, escalas e meios de análise onde podem ser representados os fenômenos geográficos, geológicos, demográficos, econômicos, sociais, biológicos, entre outros, visando ao estudo, à análise e à pesquisa (FRANCISCO, 2003). A disponibilidade de produtos cartográficos de qualidade possibilita o desenvolvimento de diversas atividades que atende às necessidades de cada usuário, este fato implica em terem-se documentos cartográficos atuais, completos e precisos (MARTINELLI, 2011).

A Geografia, que de forma geral possui a incumbência de analisar os processos decorrentes em uma paisagem, utiliza-se de mapas e cartas topográficas como fonte de representações e de informações. Desta forma, diferente de áreas rurais, onde os mapas apresentam informações da superfície, voltados à situação de recursos naturais e ao desenvolvimento de atividades agrícolas, em áreas urbanas, são levantadas informações ligadas a distribuição de complexas redes interligadas, podendo ser elas: parcelamento do solo, arruamentos, transporte, eletrificação, abastecimento de água e esgoto, telefonia, eletrificação, etc. Assim, mapas voltados á representações de áreas urbanas conferem um elevado grau de relevância social econômica a sua forma de representação, exigindo assim uma maior precisão de seus mapas.

Nesse sentido, insere-se a Topografia, que através de sua técnica de levantamentos planialtimétricos é capaz de determinar de forma precisa, o contorno, a dimensão, a elevação e a posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre. Historicamente a topografia tem sido muito utilizada para levantamentos urbanos, por meio de métodos consagrados que permitem a obtenção de dados confiáveis. Porém, as limitações quanto aos demorados procedimentos de campo, elevam os custos dos levantamentos, tornando a adoção destes levantamentos dificultados para áreas maiores (CASACA et al., 2015).

Levando-se em consideração, a necessidade de obtenção de dados precisos em áreas urbanas e o elevado tempo e custo de levantamentos topográficos precisos de campo, nos últimos anos, o Sensoriamento Remoto, o geoprocessamento e os SIG (Sistemas de Informações Geográficas) vem apresentando para a Cartografia e para a Geografia ferramentas que auxiliam a espacialização de diversas informações da paisagem. Assim, surgem como fontes de dados os modelos que representam uma determinada área através de seus respectivos atributos, onde através da associação de uma informação (valor) a uma coordenada geográfica, passa-se a determinar as suas características da área estabelecida.

Para levantamentos planialtimétricos, o valor de elevação associado representa a altimetria do terreno, definindo o relevo da área. Em um ambiente de SIG, os levantamentos planialtimétricos são definidos pelos MDE (Modelos Digitais de Elevação). Nesse sentido, os

MDE tornam-se importantes para especializar áreas que possuam: um relevo mais acidentado; maior/menor insolação; maior risco de desmoronamento; maior grau de inundação; maior gradiente de escoamento superficial, definidas através da elaboração de mapas de declividades, de orientação de vertentes, hipsométricos, planícies de inundação, de canais de drenagem, de perfis longitudinais, áreas de ruptura geomorfológica, dentre outros.

Atualmente existem disponíveis no mercado, diferentes fontes de dados que agregam de forma digital a altimetria do terreno. Porém, muitos destes produtos não possuem a escala de análise necessária para gerar dados confiáveis, principalmente para áreas urbanas. Assim, a presente pesquisa visa através da elaboração de diferentes produtos cartográficos, apresentar uma comparação de dados gerados a partir de diferentes modelos tridimensionais disponíveis, verificando as adequadas possibilidades de usos destes para a área urbana de Francisco Beltrão/PR.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Cartografia tem acompanhado o progresso da civilização humana, os mapas que inicialmente apresentavam itinerários rupestres, feitos pelas populações nômades primitivas, atualmente demanda grande precisão geoespacial, podendo ser incorporado ao mesmo objeto representado, inúmeras informações cadastrais relevantes para sua definição (CARVALHO, 2008). Para Rocha (2002), durante muito tempo a cartografia valeu-se de mapas e cartas registradas em papel e esta disposição física impunha consequências, pois amarrava a escala à quantidade de informações a serem representadas.

Com o avanço tecnológico, o uso de tecnologias nas fases de construção de uma carta, possibilita a apresentação de um produto final, sem escala definitiva, devendo, no entanto, considerar uma medida de dispersão das informações métricas registradas em relação a suas correspondentes no terreno. Outro aspecto do emprego da cartografia digital, diz respeito a inexistência teórica de limites da quantidade de informações a serem registradas, podendo muita vezes serem superpostas, ou retiradas, dependendo da necessidade de qualquer informação. Apesar da exatidão da carta ser de grande importância na avaliação de sua qualidade, outros fatores também devem ser analisados como: atualidade, completitude e consistência lógica (MATOS, 2008)

Nesse sentido, Iuni (2006)definem o termo mapa digital ou modelo cartográfico digital, como sendo o conjunto de registros de informações cartográficas, através de entidades gráficas e alfanuméricas armazenadas na forma digital, cuja interpretação por programas

específicos permite a sua apresentação na forma cartográfica e também a realização de análises espaciais a partir da estrutura topológica construída.

Ao mesmo passo da evolução da ciência cartográfica, a Topografia que incialmente apresente registros de 1.400 AC, quando no Egito foram divididos lotes com o propósito de cobrança de impostos, Sousa (2001) apresentou nos últimos séculos um desenvolvimento significativo, através do aperfeiçoamento da mecânica de precisão introduzida no equipamento topográfico. Nos últimos anos a criação das "estações totais", que agregam equipamentos como teodolitos eletrônicos e distanciômetros eletrônicos, foi considerado um marco na história da Topografia, que aliada a automatização de cálculos e desenhos permitiram maior agilidade a realização de mapeamento topográficos (CASACA *et al*., p. 111, 2015).

Mesmo sabendo das facilidades introduzidas pelos processos digitais na Cartografia e na Topografia, é preciso considerar que a qualidade das informações espaciais na Cartografia Digital deve apresentar acurácia relativa, acurácia absoluta e qualidade gráfica. A acurácia relativa representa a medida do desvio máximo entre dois objetos medidos no mapa e seus correspondentes na superfície terrestre. Já a acurácia absoluta representa a medida do desvio máximo entre a localização onde a feição é lançada no mapa e sua verdadeira localização na superfície terrestre. E em relação a qualidade gráfica refere-se à legibilidade dos dados, consistência da representação gráfica, estéticas, e ajuste dos padrões gráficos adotados (MIRANDA, 2005).

De forma geral, a cartografia digital, utiliza-se de um ambiente computacional conhecido como SIG, que se baseiam em uma tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não espaciais e temporais (ROCHA, 2007). Os SIG são ferramentas capazes de gerar informações precisas, que permitem obter soluções rápidas e precisas para vários problemas, facilitando o processo de tomada de decisões em diversas áreas como: Geologia, Hidrografia, Agricultura, Engenharia Civil, de Transportes, Urbana, de Minas, etc. (SILVA, 1998)

O emprego de SIG como ferramenta depende basicamente dos seguintes elementos: recurso humano, determinado pela capacitação pessoal especializado para operação dos aplicativos; equipamentos e programas computacionais, podendo ser adquiridos dependentes de recursos financeiros; e bancos de dados, que exigem grande atenção em qualquer implantação. De maneira geral, o processo de aquisição de dados é complexo, exigindo que se recorra a fontes variadas e informações (CAMARA *et al*., 1996).

Exemplos de dados utilizados em SIG são as fontes primárias, que são aquelas obtidas diretamente através de levantamentos de campo (topográgicos, geodésicos, cadastrais, etc), e produtos de Sensoriamento Remoto. Têm-se ainda fontes secundárias como mapas e cartas temáticas, importados e posteriormente digitalizados no banco de dados. A entrada desses dados no sistema também é uma fase extremamente importante na implantação de um SIG, pois é através dela que se pode garantir a qualidade, a precisão e a confiabilidade do produto final (ROCHA, 2007).

O Sensoriamento Remoto é conhecido por fornecer imagens de satélite para realização de mapeamentos de uso da terra, para um SIG ele pode fornecer dados relacionados à altimetria do terreno. Através de sensores ativos, compostos por sistemas de radar, é possível pelo processo de emissão de energia eletromagnética (geralmente faixa de microondas), e posterior registro da energia refletida determinar as características físicas do objeto irradiado (NOVO, 2010).

Resultantes do processo supracitado, uma das principais formas de representação de dados espaciais utilizada pela Cartografia Digital dentro de um ambiente de SIG são os modelos que representam tridimensionalmente os diferentes fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. Dentre eles pode-se citar os Modelos Digitais de Superfícies (MDS), e os Modelos Digitais do Terreno (MDT) (Rocha, 2007). Os MDS representam a superfície terrestre acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que interferem no valor da reflectância do pixel, desta forma, se existirem formações vegetais, edificações sobre a superfície, será representada o topo destas feições. Já os MDT representam a superfície real do terreno sem elementos que influenciam na reflectância do pixel (MATOS, 2008).

Segundo Valeriano (2004), um dos principais produtos de MDE disponíveis gratuitamente na Internet são os modelos obtidos a partir da missão SRTM (Shuttle Radar TopographicMission). Esta missão espacial consistiu em obter um modelo digital do terreno da superfície terrestre entre as latitudes de 56° Sul e 60° Norte, através de um sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour (ônibus espacial) em fevereiro de 2000. Inicialmente disponibilizados para América latina com uma resolução de 3 segundos de arco, atualmente os dados já são disponibilizados com uma resolução de 1 segundo de arco (aproximadamente 30m) (FAR et al. 2007). Os dados obtidos para este trabalho foram através no LPDAAC Data Pool[4].

[4] LPDAAC – https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool/

Os dados do ASTER Global DEM (Global Digital ElevationModel) (ABRAMS *et al*., p. 40, 2010), são fornecidos pelo sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emissionand Reflection Radiometer), a bordo do satélite Terra, lançado em junho de 2009, coletando dados terrestres entre as latitudes de 83° Sul e 83° Norte. Sendo também um MDS, os dados são disponibilizado com a resolução espacial de 30m, atualmente a versão do ASTER Global DEM apresenta melhorias significativas com o aumento da resolução espacial através do pós-processamento cruzando as informações do sensor ASTER com os dados do SRTM (30m), uma vez que inicialmente os dados foram fornecidos com 120m depois com 70m de resolução espacial (GROHMANN, 2015). Os dados foram obtidos através no LPDAAC Data Pool.

Os dados do SRTM são do tipo MDS, pois levaram em conta elementos dispostos na superfície terrestre. Os dados de MDE sensor PALSAR, coletados pelo satélite ALOS (Advanced Land Observing System), lançado em 2006 pelo governo japonês, registra imagens entre as latitudes de 59° Sul e 60° Norte com uma resolução de 10m. No entanto, em 2015, a fim de corrigir geometricamente e radiometricamente algumas inconsistências encontradas nos dados, os mesmos foram reamostrados para a resolução 30m, em seguida transformados novamente para uma resolução de resolução 12,5m (SANTOS, 2009). Os dados foram obtidos através do Serviço de Satélites do Alasca[5]. Igualmente aos dados SRTM os dados do sensor PALSAR são coletados sob a forma de MDS.

Os dados da missão WORLDDEM, apresentam um MDE com recobrimento completo de polo a polo. O WorldDEM, foi reamostrado a partir de dados STRIP MAP de 3m de resolução coletados pelas missões TerraSAR-X e TANDEM-X coordenadas pela Airbus, e fornece uma camada altimetria com 12m de resolução espacial. Os dados foram coletados de abril de 2011 a março de 2014.O modelo do WORDDEM utilizado para presente pesquisa é do tipo DTM, onde são retiradas da superfície influencias de leitura produzidas pela vegetação e pelas edificações, e foi fornecido pelo Grupo de Pesquisa em Geotecnologias da Unioeste (GEOTEC), e adquirido com recurso do CEPED (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres do Paraná).

[5]https://vertex.daac.asf.alaska.edu/

MATERIAL E MÉTODO

O município de Francisco Beltrão está situado na mesorregião sudoeste paranaense, conforme classificação do IBGE, (Figura 01). Em relação aos aspectos físicos do município o relevo caracteriza-se como ondulado e, nas áreas mais elevadas, como montanhoso a escarpado, o que forma um relevo de platôs elevados com áreas planas e desníveis acentuados. Os interflúvios são estreitos e os talvegues mostram tendência ao entalhamento, apresentando alta declividade próximo às cabeceiras. As altitudes variam desde 490 m nas margens do Rio Marrecas, a nordeste do município, até 948 m no seu oeste, no macro divisor de águas entre as bacias do Rio Capanema e do Rio Chopim (MINEROPAR, 2002).

O clima da área urbana pesquisada, segundo ITCG (2008), apresenta um clima de transição, com predomínio de um clima temperado (Cfb). A condição climática da região apresenta temperatura média anual de 21,4°C. As chuvas apresentam índices anuais entre 1.600 e 1.900 mm precipitados e umidade relativa do ar de 85%. A temperatura e a umidade são fatores determinantes na espacialização dos remanescentes nativos da vegetação característicos dos domínios fitogeográficos de Floresta Ombrófila Mista (mata de Araucária nas regiões mais elevadas) e a Floresta Estacional Semidecidual, compostas por espécies subtropicais localizadas em áreas de menor altitude (IPARDES, 2004).

Estudos socioeconômicos realizados pelo IBGE (2010), classificam Francisco Beltrão, como um centro regional dentro do sudoeste paranaense estando voltada principalmente para os setores de comércio e os serviços. Desta forma, por ser um centro regional, nos últimos anos (IBGE, 2010), a taxa de urbanização de Francisco Beltrão (85%) vem apresentando valores acima da média nacional (84%). Este fator faz com que a respectiva área urbana cresça de forma desordenada, segundo Leme (2015) o intenso crescimento populacional urbano registrado na última década gerou uma grande demanda por moradia, impondo dois tipos de expansão: a horizontal marcada pela abertura de loteamentos; e a vertical, identificada pela construção de edifícios, geralmente com mais de três pavimentos.

No contexto urbano de Francisco Beltrão, foi selecionado o bairro Cristo Rei (Figura 1) para a geração dos mapas a serem comparados, pois o mesmo apresenta variações de relevo significativas, sendo que este faz divisa com o Bairro do Aeroporto (com aproximadamente 650m de altitude) e como o bairro Centro com altitudes médias de 550m. O Bairro Cristo Rei é delimitado pelas coordenadas: Latitude 1: S 26° 04’ 25”;Longitude 1: W 53° 04’ 23” ; Latitude 2: S 26° 03’ 40”; ;Longitude 2: W 53° 03’ 25”. O projeto foi criado tomando por base o DATUM horizontal SAD69, correspondente aos dados do levantamento planialtimétrico na escala 1:2.000, fornecido pela Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão,

através da Secretaria de Urbanismo, e que servirá como base para comparação dos dados gerados a partir dos MDE importados.

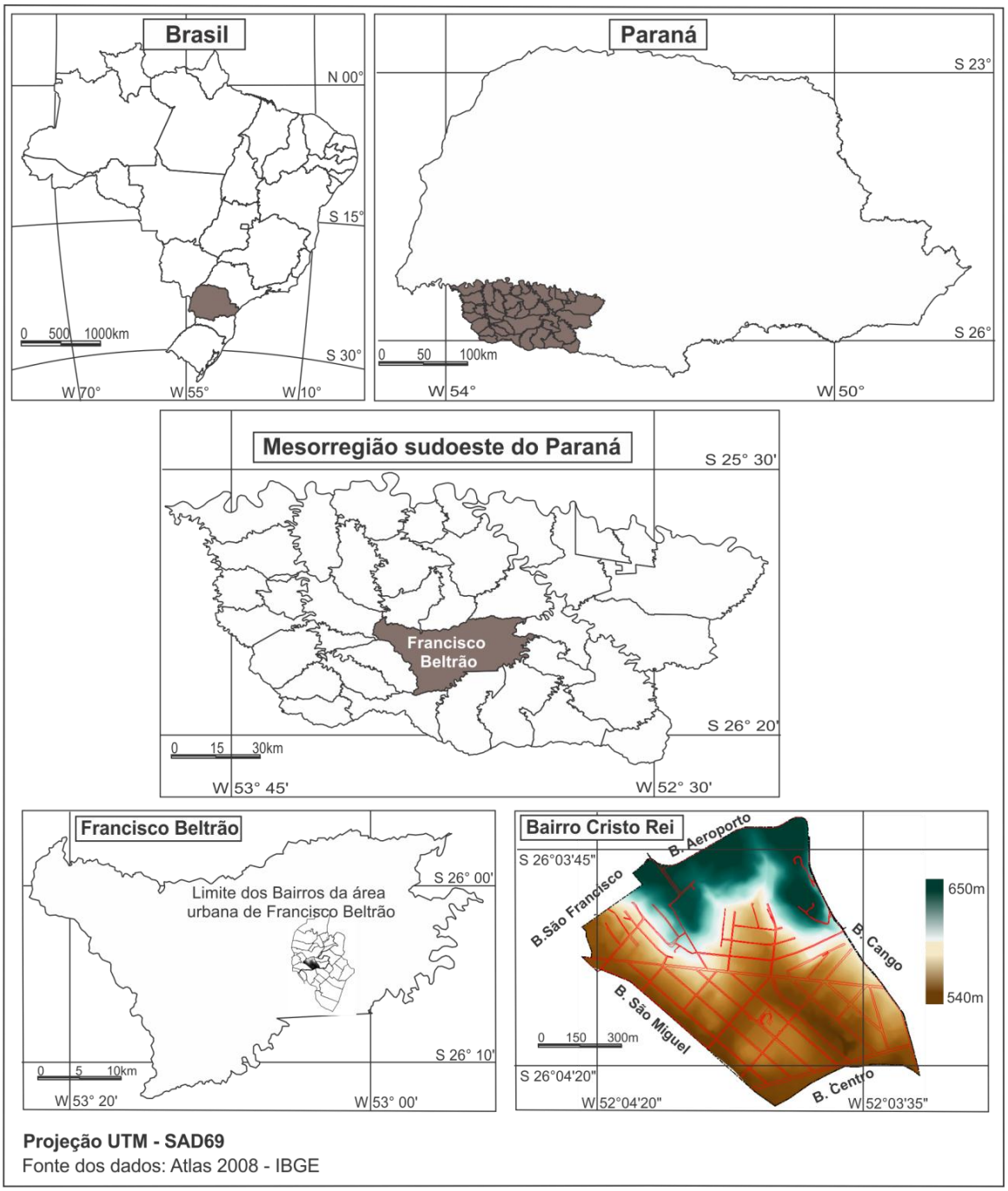

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo.

Após a importação dos MDE, foram elaborados os mapas: hipsométrico e clinográfico. Os processos de cruzamento das informações espaciais entre os mapas, foram realizados através da álgebra de mapas, implementada com a programação de Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), com cruzamento boleano de

informações (operação de intercessão). As operações anteriormente mencionadas foram realizadas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foi realizada a comparação de qual melhores representa a superfície entre os dados dos seguintes MDE: ASTER Global DEM (Global Digital Elevation Model); ALOS (Advanced Land Observing System); SRTM; WORLDDEM, o qual seus resultados estão expostos seguir.

RESULTADOS

O primeiro dos mapas temáticos elaborado foi o mapa hipsométrico, que agrupa em classes, diferentes áreas de mesma altitude. Representando assim a altimetria de determinado local, as classes hipsométricas definem um sistema de medição e representação das feições do relevo da área de interesse (DUARTE, 1991). Utilizando por base o levantamento planialtimétrico da área Urbana de Francisco Beltrão, com curvas de nível de equidistância de 1m, foi gerado um MDE, a partir da triangulação das curvas (processo da geração de Grade TIN no SPRING) e posterior geração da grade retangular, com resolução espacial de 1m para o pixel. Com uma diferença altimétrica de 106 m (valores altimétricos variando entre o mínimo de 538m e máximo de 644m), estipulou-se através da fórmula estatística de Sturges o número de 8 classes para os mapas hipsométricos gerados a partir de diferentes MDE. Da mesma forma, buscando o máximo de padronização para os resultados, também foi respeitado a mesma diferença de intervalos entre as classes.

Ao comparar as áreas das classes temáticas dos respectivos mapas hipsométricos, fica evidente a semelhança entre o MDE gerado a partir do levantamento palnialtimétrico e o MDE oriundo do WORLDDEM. Ambos apresentaram valores de cotas mínimas e máxima aproximadas com valores mínimos de 538m e 542m e máximo de 644m e 641m respectivamente. Quanto às áreas, os dois mapas apresentaram um maior percentual na primeira classe altimétrica (538 – 551m) com um total de 35,64ha para o primeiro MDE analisado e de 33,89ha para oWORLDDEM (Quadro 01). A semelhança de dados entre ambos os modelo deve ser explicado pelo fato do WORLDDEM ser um MDT, e por seu instrumento sensor originário extrair as informações de vegetação e das edificações. Respeitando os parâmetros descritos anteriormente, a segunda, a terceira e a última classe, são os intervalos como maior quantidade de área mapeada.

Quadro 01: Tabulação das áreas referente as classes hipsométricas mapeadas para os diferentes MDEs:

Altitude\MDE	Planialtimétrico (ha)	WORLDDEM (ha)	ALOS (ha)	ASTER (ha)	SRTM (ha)
538 – 551m	35,64	33,89	7,91	19,98	28,59
551 – 564m	30,57	29,14	45,80	37,29	33,66
564 – 577m	12,33	14,18	17,22	14,34	13,58
577 – 590m	7,83	8,52	9,89	9,08	8,03
590 - 603m	5,80	5,72	6,48	7,07	5,93
603 – 616m	5,58	6,06	6,55	5,74	7,74
616 – 629m	8,02	11,47	7,90	8,89	8,60
629 – 645m	15,76	12,94	18,39	18,74	15,3
Total	243,08	243,85	240,28	242,28	242,86

Contrariando a resolução espacial de 12,5m os dados oriundos do ALOS demonstraram uma significativa influência de elementos encontrados sobre a superfície terrestre (consequência de sua classificação como MDS), pois as altitudes mínima e máxima do modelo apresentaram um valor superior ao definido pelo levantamento planialtimétrico. Assim, com valor mínimo de 547m e máximo de 649m, o mapa apresentou uma área menor para a primeira classe mapeada, concentrado assim um valor mais elevado para a segunda classe. Pode-se perceber ainda que a área reamostrada foi menor, pois ao apresentar uma cota máxima superior a definida para as classes preestabelecidas, parte do mapa (aproximadamente 3ha) não foi classificado.

Os mapas hipsométricos oriundos do MDE do ASTER e do SRTM, apesar de uma significativa diminuição de sua resolução espacial (30m), apresentaram áreas semelhantes ao levantamento planialtimétrico, porém igualmente ao caso do ALOS, a forma de aquisição dos dados (MDS), fez com que os valores mínimos e máximos fossem acrescidos, apresentando valores de 542m; 543m; e 647m; 645m para suas respectivas cotas. A Figura 02 apresenta os mapas da distribuição espacial dos mapas hipsométricos elaborados.

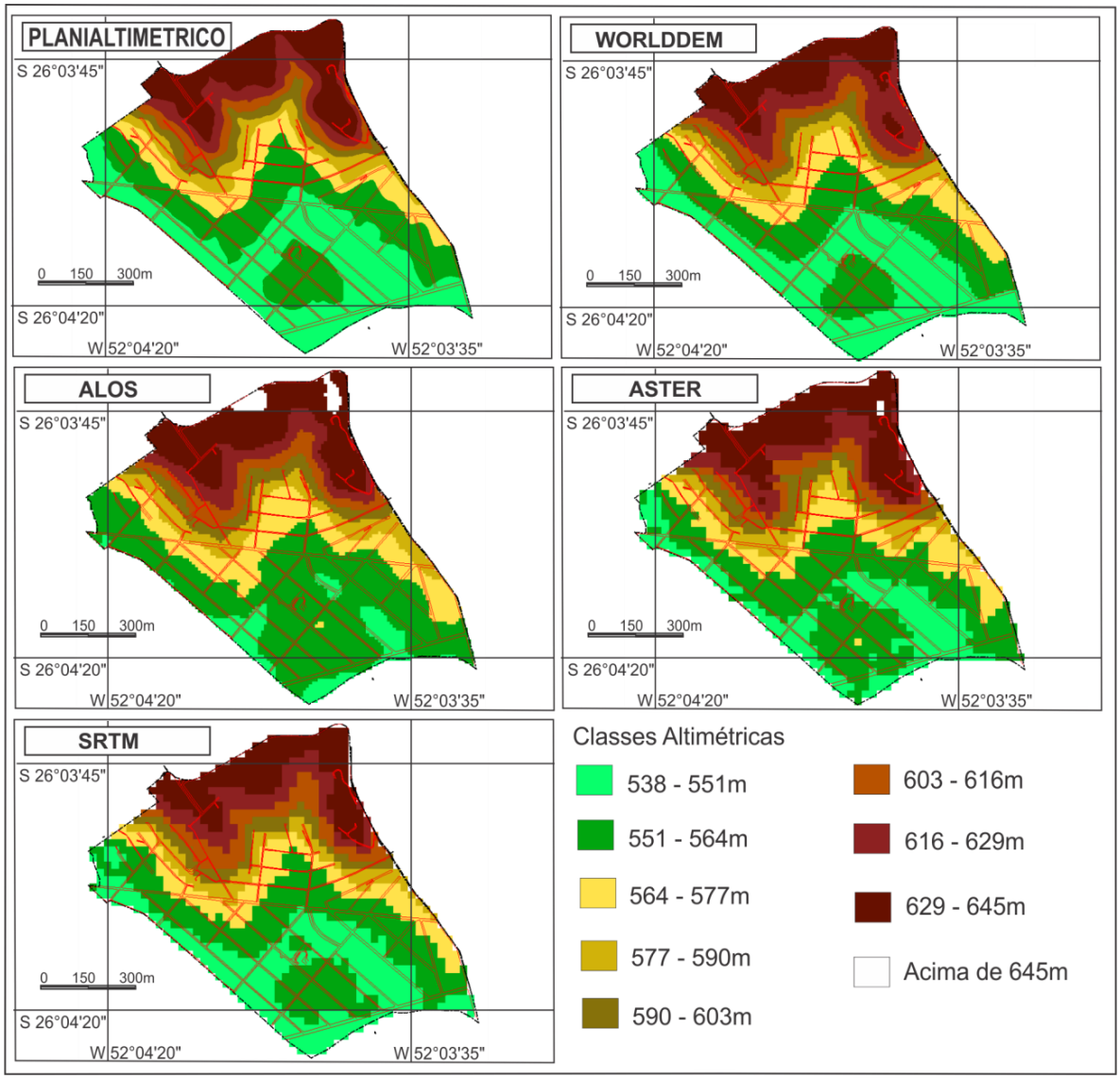

Figura 02 – Mapas hipsométricos da área de estudo.

Para elaboração do mapa clinográfico adaptou-se a metodologia de De Biasi (1996) estabelecendo critérios técnicos definindo as classes de declividade, baseando de fragilidade ao uso e ocupação do solo urbano em consonância com o artigo 3º da Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979, e ao código Florestal Brasileiro. Assim estabeleceu-se cinco classes de declividades sendo: de 0 à 2,25° - limite urbano-industrial; 2,25° à 13,5° - limite máximo para urbanização sem restrições; 13,5° à 25° - classe intermediária com declividades acentuadas; 25° à 45° - limite máximo de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de floresta (artigo 3° da Lei Federal 12.651 de 25 de maio de 2012); acima de 45° - proibida a derrubada de florestas, sendo tolerável apenas a extração de toros, em regime de utilização racional visando a rendimentos permanentes (artigo 4° da Lei Federal 12.651 de 25 de maio de 2012).

Diferente do mapa clinográfico resultante do MDE do levantamento planialtimétrico que apresentou uma área de 0,41ha para áreas com mais de 45° de inclinação, os demais MDE não quantificaram áreas para a classe citada. O Quadro 02 apresenta a quantificação das áreas pertencentes a cada classe de declividade mapeada.

Quadro 02: Tabulação das áreas das classes de declividade mapeadas para os diferentes MDE:

Declividade\MDE	Planialtimétrico (ha)	WORLDDEM (ha)	ALOS (ha)	ASTER (ha)	SRTM (ha)
0 – 2,25°	18,42	6,78	6,58	7,36	8,51
2,25 – 13,5°	74,99	92,13	87,37	80,51	80,99
13,5 – 25°	19,85	16,31	22,00	20,75	19,22
25 – 45°	7,63	1,6	0,69	0,38	0,19
> 45°	0,41	0	0	0	0
Total	121,3	116,82	116,64	109	108,91

Além de negligenciar as áreas com declividade acima de 45°, as áreas com declividade entre 25 à 45° também apresentam uma significativa redução, reduzindo de um total de 6,3% no MDE do levantamento planialtimétrico para menos de 1,5% em todos os demais mapas gerados. No outro extremo, representado pelas áreas mais planas, os mapas clinográficos gerados a partir dos MDE também apresentaram uma redução das áreas mais planas (0 à 2,25°), reduzindo em termos percentuais de 15% (MDE planialtimétrico) para menos de 8% nos mapas clinográficos gerados pelos demais modelos.

Quanto à área total, pode-se notar também a redução da área total do mapeamento realizado. Este fator é motivado pelo recorte gerado no plano de informação pelo uso da máscara (limite do bairro Cristo Rei), que nos casos de uma menor resolução espacial, apresentam uma maior perda no recorte, casos dos mapas clinográficos gerados para os MDE do ASTER e do SRTM que possuem uma resolução espacial de 30m. O mesmo fator reduz-se de forma proporcional quando aplicado aos MDE do ALOS e do WORLDDEM que tem uma resolução espacial de 12m e 12,5m respectivamente. A Figura 03 apresenta a distribuição das áreas clinográficas geradas a partir de diferentes MDE.

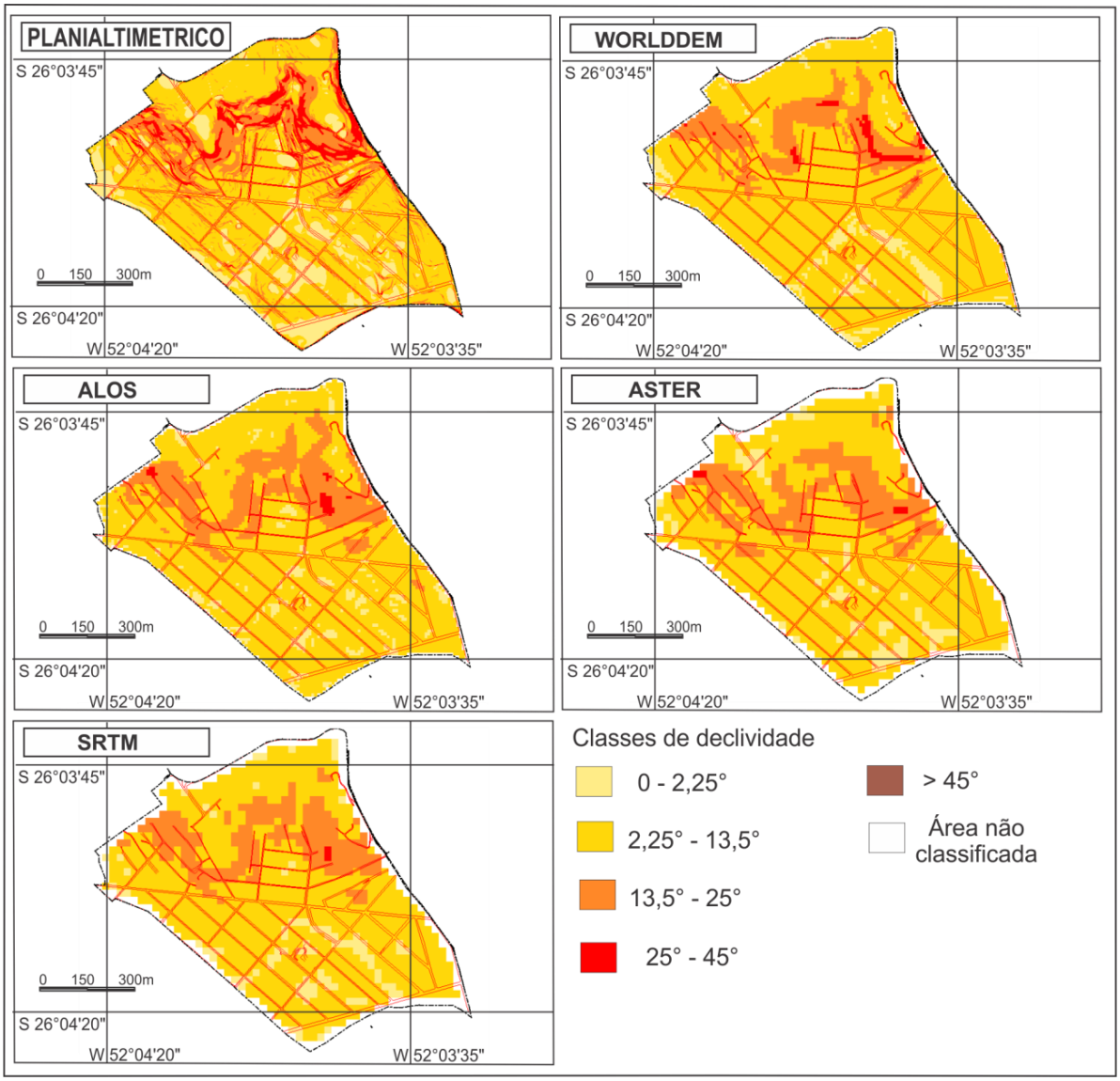

Figura 03 – Mapas clinográficos da área de estudo.

Ao analisar a distribuição espacial das classes clinográficas geradas, pode-se perceber que todos apresentaram semelhanças na distribuição das áreas mais declivosas e das áreas mais planas, sendo que as áreas mais íngremes localizam-se nas proximidades do morro que dá acesso ao bairro Aeroporto, enquanto que as áreas mais planas estão nas proximidades do rio Marrecas, na divisa com o Bairro do Centro.

Os perfis topográficos, foram elaborados seguindo uma linha que direciona-se da área de maior altitude até a região de menor altitude da Bairro Cristo Rei (Figura 04). A fim de comparar os MDE, a linhas transversais que seguem o perfil foram agrupadas conforme maior semelhança na resolução espacial do modelo analisado, desta forma elaborou-se o primeiro gráfico com os perfis do MDE resultante do levantamento planialtimétrico com os dados do

WORLDDEM e do ALOS, e no segundo gráfico os dados do levantamento planialtimétrico com os MDE do ASTER e do SRTM.

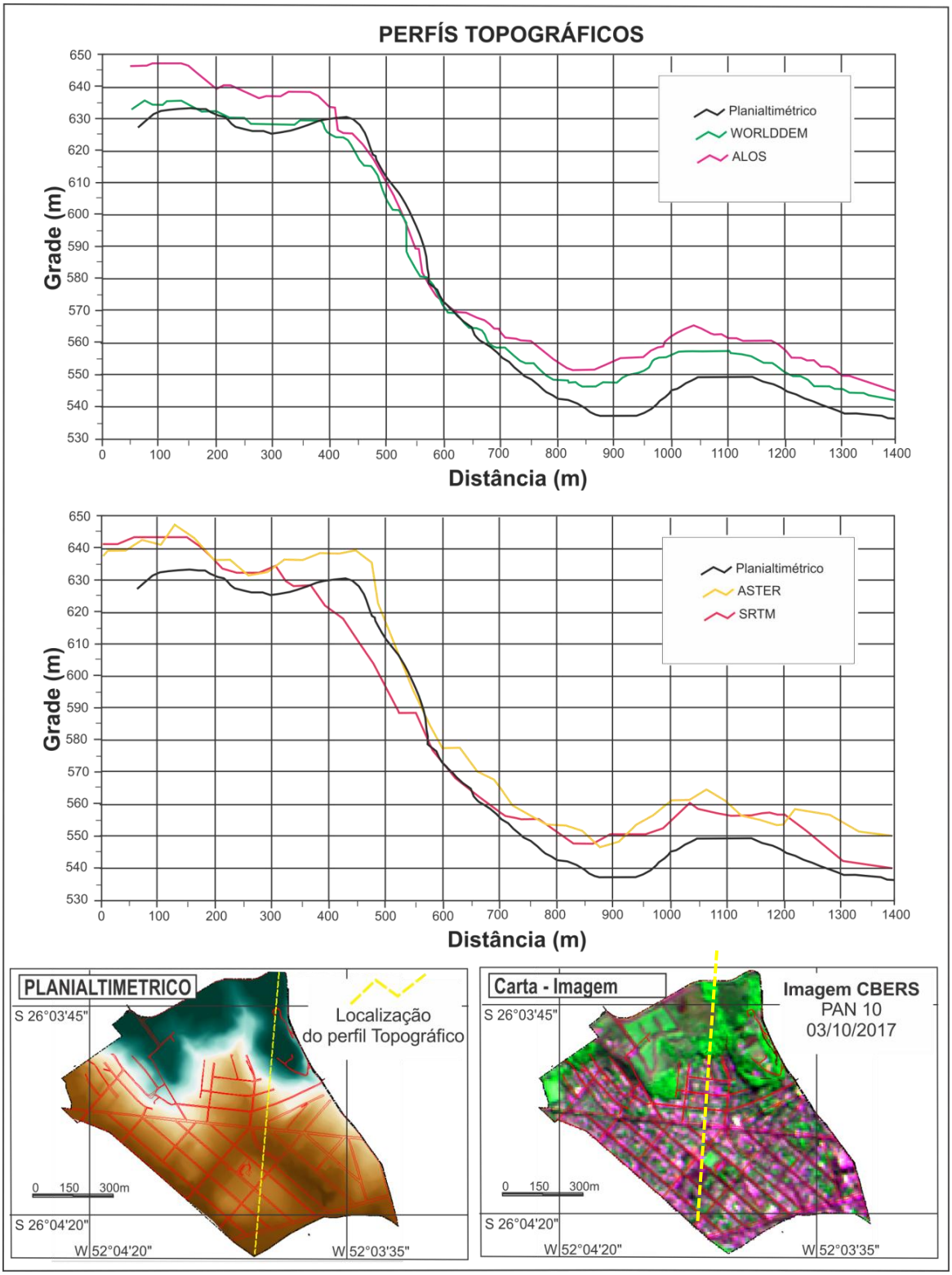

Figura 04 – Perfis topográficos comparando diferentes MDE.

No primeiro caso, ao comparas os perfis do MDE do levantamento planialtimétrico com os MDE oriundos do WORLDDEM e do ALOS, pode-se perceber que na região de maior altitude, o perfil topográfico do MDE do ALOS apresenta maiores valores altimétricos (dado esse já destacado pelo mapa hipsométrico correspondente). Valores comparados pelos perfis, também apresentam maiores valores altimétricos na região de menor altitude do bairro estudado, sendo ligeiramente maior para o MDE do ALOS, e intermediários para o MDE do WORLDDEM. Cabe ainda destacar que para as regiões de maior declividade (altitudes intermediárias) entre as distâncias de 450m à 750m os dados altimétricos dos três MDE apresentam valores aproximados.

O fato da região de maior declividade apresentar dados altimétricos semelhantes, pode ser associada ao fato de que os MDE oriundos de técnicas de Sensoriamento Remoto utilizam a região do micro-ondas do espectroeletromagnético, apresentando uma considerável penetração em dosséis florestais (NOVO, 2011), assim a referida semelhança nos dados dos MDE em áreas de maior declividade, pode estar associada a maior presença de vegetação florestal nestas áreas.

Num segundo momento ao comparar os perfis resultantes do levantamento planialtimétrico com os dados do ASTER e do SRTM, pode-se perceber que ao longo de quase toda linha longitudinal (exceção 510m à 580m), os dados do ASTER apresentam valores altimétricos superiores aos do levantamento planialtimétrico. Resultado semelhante foi registrado por Grohmann (2015) que ao analisar dados do MDE do ASTER conclui que estes apresentaram elevado nível de ruídos e artefatos decorrentes do processamento automático das imagens ópticas, com baixa correlação com a superfície morfológica presente em outros demais MDE (SRTM, TOPODATA e do projeto de Radiografia da Amazônia). Já os dados do SRTM apresentaram valores superiores nas áreas mais planas (0m à 360m e 700m a 1.400m), e valores inferiores para áreas como maior declividade (360m à 700m).

Outro fator perceptível em dados de MDE de menor resolução espacial é no aspecto morfológico atribuído ao relevo, resultando em perfis com formas retilíneas e angulosas, que não correspondem com o relevo real. Conforme Marion *et al*., (2013), os dados SRTM acabam ocultando algumas formas de relevo, sendo que dados de maior resolução espacial (WORLDDEM e ALOS) se mostram mais próximos dos dados do levantamento em escala 1:2000, os quais concernem à morfologia, maior maior semelhança ao perfil de referência.

Depois de elaborados os mapas temáticos e os perfis topográficos, foi ainda realizada uma análise estatística dos valores altimétricos apresentados pelos MDE, através do cálculo de medidas de posição e de medidas de dispersão (Quadro 03). A maior média encontrada foi

referente ao MDE do ALOS, ficando a mesma 5m acima da média dos dados altimétricos apresentados pelo levantamento planialtimétrico. Com relação a moda (valor de altitude encontrada com maior frequência no MDE) os dados do WORLDDEM e do SRTM apresentaram o valor de 548m, 7m abaixo da altitude mais registrada pelo MDE planialtimétrico (Quadro 03).

Quanto a variância, que num MDE representa o quão distante cada valor altimétricos está da média altimétrica registrada, os dados do MDE planialtimétrico resultaram num valor elevado (1.054), em relação aos WORLDDEM e do SRTM (991 e 999 respectivamente), essa diferença, para os dados do SRTM é consequência de filtragens (filtros de média e passa-baixa), que minimizam efeitos abruptos, suavizando todo o relevo indistintamente (VALERIANO, 2004). A suavização que os dados dos modelos mencionados sofrem através de processos de pós-processamento, afetam a variância do conjunto de dados, aproximando os valores altimétricos da imagem aos valores de média destes.

Quadro 03: Resultado das medidas de posição e dispersão calculadas para os dados dos MDE:

Parâmetro\MDE	Planialtimétrico (m)	WORLDDEM (m)	ALOS (m)	ASTER (m)	SRTM (m)
Mínimo	538	542	547	542	543
Máximo	644	641	649	642	645
Média	575	577	583	581	578
Moda	555	548	554	552	548
Variância	1.045	991	1.022	1.049	999
Desvio Padrão	32,33	31,48	31,97	32,39	31,61

O desvio padrão definido pela raiz da variância define o quanto o cálculo da média representa a centralidade dos dados. Assim, analisando-se o desvio padrão dos MDE, destaca-se que os dados do ASTER possuem uma maior irregularidade de altitudes, em relação a média apresentada pelos mesmos, assemelhando-se dos dados do levantamento planialtimétrico, ou seja, ambos os dados altimétricos apresentam uma distribuição assimétrica. Já os desvios padrão dos MDE do WORLDDEM e do SRTM mostram uma relativa semelhança na distribuição simétrica de valores altimétricos em torno da média.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a comparação dos produtos cartográficos gerados a partir dos MDE mapeados, é possível perceber que os dados do WORLDDEM são os que mais se aproximam do MDE de referência gerado a partir do levantamento planialtimétrico (escala 1:2.000). Um dos fatores que explica a tal semelhança é o fato dos dados serem do tipo MDT, que na hora da aquisição, suprime da superfície terrestre elementos da paisagem como dosséis florestais e edificação.

Outro fator que aproxima os dados do WORLDDEM, juntamente com os dados do MDE do ALOS, aos dados do levantamento planialtimétrico é a resolução espacial dos mesmos (12, e 12,5m respectivamente), permitindo assim mapeamentos em maior escala. Os dados altimétricos ALOS porém apresentam valores bem superiores aos de referência, principalmente em áreas planas.

A menor resolução espacial (30m) dos MDE do ASTER e do SRTM prejudica a representação morfológica do terreno, concebendo a estes, formas angulosas que dificilmente correspondem a realidade natural encontrada na paisagem. Comparando os dados altimétricos de ambos com o MDE de referência, nota-se uma maior semelhança com os dados do ASTER, fator comprovado pelos cálculos estatísticos de dispersão, principalmente através do resultado do desvio padrão.

Para fins de parcelamento urbano, no quesito planialtimétrico, faz-se necessário mencionar, que no caso de Francisco Beltrão, os dados do MDE analisados não são utilizáveis, uma vez que para a implantação de um loteamento, arruamento, desmembramento e remembramento de áreas é necessário que o solicitante realize o mapeamento da situação do terreno na escala de 1:1.000 indicando em planta os perfis de todas as linhas de escoamento das águas pluviais e o relevo do solo por meio de curvas de nível, de latitudes equidistantes de 1m (Lei Municipal 3.372 de julho de 2007).

Ressalta-se ainda a necessidade de realização de pesquisas futuras, submetendo-se a comparação dos MDE analisados em áreas urbanas que apresentem outros aspectos de relevo, formação vegetal e de áreas edificadas, variando assim os fatores altimétricos que influenciam a coleta e a representação de dados fornecidos pelos modelos de elevação disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, Michael; HOOK, Simon; RAMACHANDRAN, Bhaskar.Asteruserhandbook: version2. 2007. Disponívelem: <http://ftp.glcf.umd.edu/library/pdf/aster_user_guide_v2.pdf>. Acesso em: 04 set 2017.

ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e Geoestatística. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2003. 165p.

BRASIL – REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de Julho de 1984. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm> Acesso em: 28 de set. 2009.

CÂMARA, Gilberto; CASANOVA, Marcos; HEMERLY, Andrea; MEDEIROS, Cláudia; MAGALHÃES, Geovane. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Curitiba, SAGRES, 1997.

Carvalho, Edilson Alves de. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas**.I : geografia / Edilson Alves de Carvalho, Paulo César de Araújo. – Natal, RN : EDUFRN, c2008. 248 p.

CASACA, João Martins, DE MATOS, João Luiz; DIAS, José Miguel Baio. **Topografia Geral.** Rio de Janeiro. LTC, 2015.

DE BIASI, M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção**. 1996

DUARTE, Paulo Araújo, **Cartografia Temática**, Florianópolis, SC: Editora da EFSC, 1991,

GROHMANN, Carlos Henrique. Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e Modelos de Superfície/Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, 2015. p. 5726 – 5732.

FRANCISCO, Humberto Rodrigues; IANI, Nilton Nobuhiro. Temporalidade em SIG: aplicação em Cadastro de Imóveis. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 9, n° 1, p.89-104, 2003.

FRANCISCO, Denise Pinheiro. A importância da cartografia temática na análise do espaço geográfico: qualidade de água versus ocupações irregulares no Aglomerado Metropolitano de Curitiba. **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 20, n. 20, p. 35-41, 2003.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de Informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário-documentação do arquiv**o, Rio de Janeiro: IBGE, 2011, p,125

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, Leituras regionais: Mesorregião Geográfica Sudoeste Paranaense, Curitiba: BRDE, 2004, 140p,
ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, Clima–Estado do Paraná, Curitiba, 2008,

IUNI, César. **Metodologia para controle de qualidade de cartas topográficas digitais**. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LEME, Ricardo Carvalho, **Expansão urbana e verticalização: o mercado imobiliário de Francisco Beltrão/PR** (1998A2012), Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MARTINELLI, Marcelo. **Mapas da geografia e cartografia temática.** São Paulo. Contexto, 2011.

MARION, F. A.; SANTOS, E. B. ; HENDGES E, R. Análise de Modelos Digitais de Elevação para modelagem do relevo na área urbana de Francisco Beltrão-PR. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, p. 50-60, 2015.

MATOS, João. **Fundamentos da Informação Geográfica.** Lisboa, 2008.

MINEROPAR– Minerais do Paraná S,A, **Avaliação do potencial mineral e consultoria técnica no município de Francisco Beltrão: relatório final**. Curitiba: Mineropar, 2002, 66p.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamento de Sistemas de InformaçõesGeográficas**. Brasília, Embrapa Informação e Tecnologia, 2005.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo, Blucher, 2010.

ROCHA, Cézar Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora, do Autor, 2007.

ROCHA, Ronaldo dos Santos. **Exatidão Cartográfica para as Cartas Digitais Urbanas**. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SANTOS, Elaine Marra dos. **Análise de Imagens do Satélite ALOS PALSAR (banda L, Modo Polarimétrico) para Discriminação de Coberturas de Terras do Distrito Federal**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SILVA, A. N. R. **Sistemas de Informações Geográficas para planejamento de transportes**. São Carlos. 1998. Tese (LivreDocência) – EESC/USP, São Carlos

SOUZA, Genival Corrêa de. **Análise de metodologias no Levantamento de Dados Espaciais para Cadastro Urbano**. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

VALERIANO, Márcio de Morrisson. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, 2004.