

Análise de MDE Radarsat 1 em área de relevo misto no entorno da Baía de Guanabara/RJ: planimetria, altimetria, declividade e uso do solo

Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza ^{1,3}

Carla Bernadete Madureira Cruz ¹

Rafael Barros da Silva ²

Isabela Habib Canaan de Carvalho¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/Depto Geografia
Laboratório de Sensoriamento Remoto ESPAÇO
Av. Brigadeiro Trompowsky, s/n, CCMN, Ilha do Fundão – CEP 21941-590 – RJ, Brasil
{cmad,habib}@ufrj.br,

² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências – Coordenação de Cartografia
Av. Brasil, 15671 CEP 21241-051 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
rsbarros@ibge.gov.br

³ Centro de Excelência em Engenharia de Transportes - CENTRAN
Núcleo de Geoprocessamento
Av. Presidente Vargas 522/15º Centro - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
elizabeth@centran.eb.br

Abstract. Radar images are usually adequate for application on the characterization of relief in the Brazil. The use of those sensors by diverse groups of research in all the country has brought hopes for diminishing the gaps in the national cartography in areas of the north and northeast of the Brazil. This study relates an experiment using one Radarsat fine estereopar (F2 e F5) for the generation of the slope maps, and the inquiry of the planialtimetric precision of the maps. The mathematical model utilized for the extraction of the MDE was based in the specific model for the scenes Radarsat available in the *software* OESE (OrthoEngine Satellite Edition, PCI Geomatics) and use specific information to the sensor as by example the distances between slant range and the land. The ground points used for settlement and generation of the model were extracted of the topographical maps in the scale of 1:10.000 originating from the Foundation CIDE (State of the Rio de Janeiro) and IPP (Pereira Passos Institute). The study concluded that the planimetric accuracy of the topographical map attends to the demands of the scale 1:50.000 (class B) and 1:100.000 (class A) suggested by the Standard of Accuracy Cartográfica Brazilian (PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica). The altimetric evaluation directs the utilization of the product for the scale 1:250.000 (class A) looked good near to the scale 1:100.000 (class C).

Palavras-chave: Slope, Radar Image Processing, Digital Elevation Model, Declividade, Processamento de Imagens de Radar, Modelo Digital de Elevação.

1. Introdução

Tradicionalmente as informações altimétricas são obtidas pelas cartas topográficas geradas por restituição aerofotogramétrica, sendo bastante recente sua obtenção a partir de sensores orbitais, sejam passivos ou ativos. Para a geração de modelos digitais de elevação várias técnicas são consideradas tradicionais, porém as principais metodologias utilizadas são: a estereoscopia e a interferometria. A primeira permite obter informações tridimensionais por meio da observação de um par de imagens obtidas de uma mesma área com ângulos de incidência diferentes. Na segunda, as imagens utilizadas para a representação tridimensional são registradas por duas antenas posicionadas em posições diferenciadas ou por uma mesma antena que registra a cena em tempos distintos. Dessa forma, para obter a informação altimétrica utiliza a diferença de fase entre as medidas de distância para pontos comuns do par de imagens utilizado.

É nesse contexto que o presente estudo propõe uma avaliação das potencialidades das imagens de radar para a pesquisa geográfica, enfatizando a aplicabilidade das imagens de radar do sensor Radarsat 1 para os estudos de cunho geográfico com ênfase na extração de informações do relevo e posterior geração de mapas fisiográficos do relevo, como declividade e hipsometria, oriundos de Modelos Digitais de Elevação (MDE's) em uma área com diferentes tipos de relevo, localizada no entorno da Baía de Guanabara/RJ.

2. Metodologia de Trabalho

Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas atividades de levantamento de bases georreferenciadas, geração de Modelos Digitais de Elevação e análises de correlação com a declividade e uso do solo. Sistemáticamente podemos estipular como procedimentos padrões as seguintes fases da pesquisa:

2.1 - Levantamento das bases de dados e informações básicas

Para a execução dessa pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Par estereoscópico Radarsat modo *fine*, cenas f2 e f5;
- Mapeamento digital na escala de 1:10.000 do IPP (Instituto Pereira Passos), IphanRIO e Fundação CIDE;
- Mapeamento de uso e cobertura do solo (oriundo de imagens LANDSAT 7 (2000)- Projeto de Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara).

O mapeamento digital, inclusive de uso e cobertura, foram fornecidos pelos laboratórios GeoCart e ESPAÇO, do Departamento de Geografia, da UFRJ, e as imagens Radarsat modo *fine* foram disponibilizadas pela empresa Threetek Soluções em Geomática/RJ.

As fases desenvolvidas para a realização do estudo foram compostas pelas etapas a seguir:

2.2 Geração dos Modelos Digitais de Elevação a partir das cenas Radarsat 1 modo fine para a área de estudo

A geração do MDE segue a estrutura proposta por Coelho (2002) utilizando o *software* PCI Geomatics 9.0, módulo ortoengine. Vários testes foram feitos procurando sempre melhorar o RMS ou Erro Médio Quadrático e a qualidade visual dos modelos gerados. Para a definição do melhor modelo foram calculados os erros máximo e mínimo, desvio padrão e média para todos os modelos. Esse procedimento foi realizado no *software* ArcGIS 9.0 através da função *Spatial Analyst Tools - Zonal - Zonal Statistics as Table*.

2.3 Procedimentos de avaliação de MDE Radarsat 1

A acurácia planimétrica foi avaliada tendo como referência as cartas topográficas 1:10.000. Para a avaliação da acurácia altimétrica foram utilizados pontos cotados provenientes das mesmas cartas. No caso da avaliação planimétrica utilizou-se o MDE RADARSAT com melhor resultado para ortorretificar a cena fine 5 e posteriormente identificar pontos notáveis na imagem e nas cartas topográficas 1:10.000 tais como cruzamento de ruas e rios. Esse procedimento foi executado no módulo ortoengine do PCI 9.0. Segundo Paradella *et al* (2005) a cena fine 5 apresenta um melhor contraste das feições indicativas dos processos antrópicos permitindo uma melhor seleção dos pontos para análise. Para a análise da planimetria foram selecionados 73 pontos sendo 5 destes pontos com elevação acima de 90 metros. O número mínimo de pontos em elevação se justifica pela dificuldade em selecionar pontos em áreas de relevo acidentado. Após a definição do melhor modelo foi realizada a avaliação do mesmo segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC e erros obtidos segundo tipo de declividade e uso do solo.

O procedimento para verificação altimétrica foi realizado no *software* ArcGIS 9.0 através da função *Surface Spot* no módulo *Spatial Analyst*. Essa função realiza uma intersecção entre o modelo (MDE Radarsat) e a malha de pontos cotados das cartas de referência, extraíndo para a tabela de atributos as informações referentes à elevação do modelo no *pixel* em que está inserido o ponto cotado. Foram utilizados 10883 pontos cotados para toda a área de estudo.

Seguindo a determinação do PEC foram calculados os intervalos probabilísticos de confiança para a planimetria e altimetria. As designações CE90 e LE90 são conhecidas por toda a comunidade internacional e utilizadas em procedimentos de estimativas de acurácia altimétrica e planimétrica.

Na equação 1 do CE90 os seguintes parâmetros foram usados conforme adaptação de Paradella e Silva (2005):

CE90 = 2,15 x *Erro Médio Quadrático (EMQ)*, onde:

$$EMQ = \sqrt{\frac{(\sum (X_{radar} - X_{carta})^2 + \sum (Y_{radar} - Y_{carta})^2)}{N - 1}} \quad (1)$$

Nesse caso: X_{carta} e Y_{carta} são medidas das coordenadas extraídas das cartas topográficas 1:10000 e X_{radar} e Y_{radar} representam as coordenadas extraídas da cena *fine 5*, já ortorretificada. N representa o número total de pontos considerados na análise.

Para a determinação do LE90 os seguintes parâmetros foram usados (equação 2):

LE90 = 1,6449 x *Erro Médio Quadrático (EMQ)*

onde:

$$EMQ = \sqrt{\frac{(\sum (Z_{radar} - Z_{carta})^2)}{N - 1}} \quad (2)$$

onde: Z_{carta} é a elevação dos pontos cotados das cartas 1:10 000 e Z_{radar} representa a elevação do MDE Radarsat. O “N” representa o número total de pontos considerados na análise.

Além da determinação dos erros linear e circular dos produtos gerados foi calculada a precisão para determinação das classes segundo definição do Seção 2 Art.9º do decreto 89.817 de 20 de junho de 1984, que trata da definição das Classes de Cartas. Os parâmetros utilizados na definição da escala cartográfica de classe do produto com relação a planimetria foram utilizados os parâmetros descritos no decreto acima. Após a definição dos resíduos gerados para o conjunto de pontos (na avaliação planimétrica e posteriormente altimétrica) foi possível quantificar o número de pontos com erros em cada classe (A, B ou C) e determinara a melhor aplicação para o produto.

Além da análise referente à qualidade cartográfica do MDE procurou-se identificar possíveis correlações entre os erros gerados pelo modelo e o tipo de declividade, bem como o tipo de uso dado ao solo.

Para a realização da análise referente à declividade do terreno foi gerado um mapa a partir do MDE Radarsat no *software* ArcGIS 9.0 por meio da função *Spatial Analyst - Surface - Slope* em graus conforme as classes a seguir (tabela1):

Tabela 1: Classes de declividade

Declividade (°)	Tipo de relevo
0-3 °	Plano
3-8°	Suave Ondulado
8-20°	Ondulado
20-45°	Forte Ondulado
>45°	Escarpado ou Montanhoso

Após a geração do mapa de declividade foi realizado o procedimento de extração das informações a partir do *Surface Spot* repetindo a metodologia utilizada para análise do PEC. Com todas as informações presentes na tabela de atributos (referentes à elevação do ponto, erro altimétrico e tipo de declividade) foi possível traçar um panorama de correlação entre o MDE e o tipo de declividade.

Para análise do tipo de uso do solo utilizou-se o mapeamento realizado para o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (imagem de 2000, mapeamento realizado em 2002) pelos laboratórios de Sensoriamento Remoto ESPAÇO e Geocart da UFRJ. Esse mapeamento foi desenvolvido através de imagens Landsat TM para atender um projeto de Zoneamento Ambiental para Gestão da Baía de Guanabara e delimitou áreas na bacia da Baía de Guanabara para as classes: urbano intenso, urbano médio, urbano rarefeito, grandes construções, floresta estacional, floresta ombrófila, vegetação secundária, reflorestamento, estepe arbórea, praia, mangue, mangue degradado, áreas agrícolas, encosta degradada, pastagem/campo, rios e lagos, restinga, várzea, áreas inundadas, solo exposto e afloramento rochoso.

3. Resultados e Discussão

Os parâmetros utilizados para a geração desse modelo podem ser observados na tabela 2 e o MDE na figura 1.

Tabela 2: Parâmetros finais para geração de MDE de referência

PONTOS TOTAIS	PONTOS DE VERIFICAÇÃO	PONTOS DE CONTROLE	RMS F2	RMS F5	DETALHE	ELEVAÇÃO	RESOLUÇÃO
55	27	28	0,80	1,21	médio	0 -1.100 m	12,5

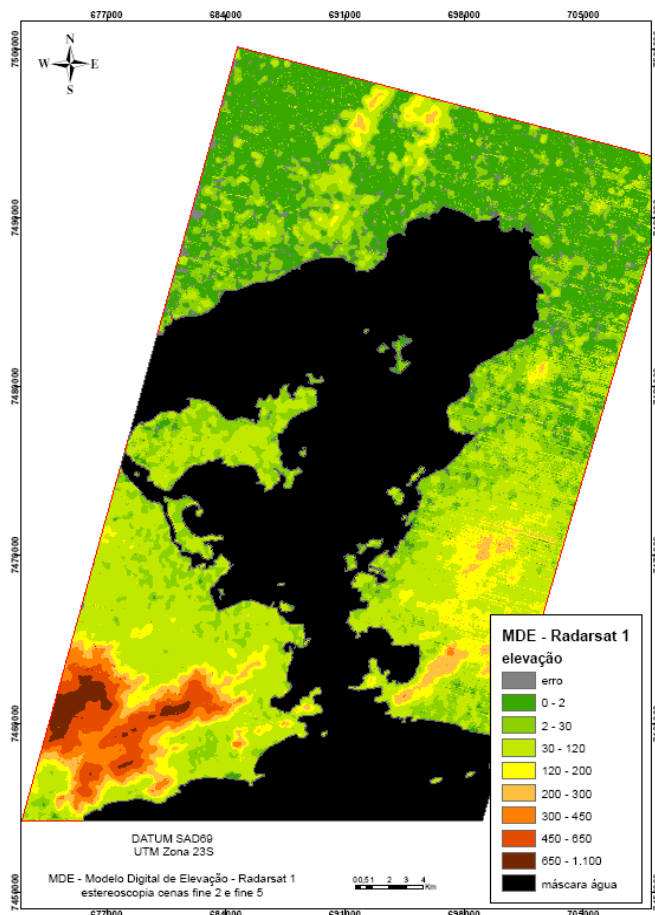


Figura 1: MDE de referência utilizado no estudo

Para cada escala cartográfica há um valor máximo para os erros obtidos pelo MDE gerado. Após a seleção dos pontos identificáveis na imagem ortorretificada e nas cartas topográficas utilizadas como referência, foram calculadas as diferenças entre os valores para as coordenadas planimétricas (X e Y) e quantificados os pontos com erros para cada classe segundo as escalas de interesse. Os resultados podem ser observados nas tabelas 3,4 e 5.

Tabela 3: Resultados obtidos para a escala 1:50.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-25	51	68,93%	A
0-40	68	91,89%	B
0-50	71	95%	C

Tabela 4: Resultados obtidos para a escala 1:100.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-50	71	95%	A
0-80	73	98%	B
0-100	73	98%	C

Tabela 5: Resultados obtidos para a escala 1:250.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-125	74	100%	A
0-200	74	100%	B
0-250	74	100%	C

Após o cálculo do CE90 foram obtidos os seguintes resultados:

$$EMQ = 26,01$$

$$CE90 = 2,15 \times \text{Erro Médio Quadrático (EMQ)}$$

$$CE90 = 2,15 \times 26,01$$

$$CE90 = 55,93$$

Na tabela 6 é possível observar o resultado obtido para a análise planimétrica da imagem Radarsat 1 modo *fine* 5 após a ortorretificação com o MDE de referência, referente ao CE90.

Tabela 6: Análise planimétrica cena fine 5 referente ao CE90

Pontos Notáveis	EMQ (m)	CE90 (m)
74	26.01	55,93

O resultado observado demonstra que o produto fica bem perto da classe B para a escala 1:50.000 tendo em vista que o EMQ obtido equivale a 26,01m e essa escala exige um erro máximo de 40 metros para 90% dos pontos. Além disso, a análise mostra que 68 dos 74 pontos (cerca de 91,89%) estão dentro dessa classe. Esse resultado, porém não expressa a realidade observada para toda a área, sobretudo aquelas com relevo montanhoso, uma vez que poucos pontos puderam ser coletados nessas áreas. Esse aspecto é justificado pela dificuldade em se identificar pontos nos terrenos montanhosos. Sendo assim esse resultado mostra que o MDE gerado a partir de imagens Radarsat 1 modo *fine* apresenta boa qualidade para terrenos com baixas elevações podendo atender à classe B da escala 1:50.000.

A análise da altimetria os mesmos procedimentos foram realizados. Os pontos cotados da área de entorno foram utilizados para realizar a diferença de altitude e posteriormente quantificar o número de pontos para cada classe. Após o cálculo do LE90 chegou-se aos seguintes resultados:

$$EMQ = 30,68$$

$$LE90 = 1,6449 \times \text{Erro Médio Quadrático (EMQ)}$$

$$LE90 = 30,68 \times 1,6449$$

$$LE90 = 50,47$$

Na figura 2 é possível observar o resultado obtido para a análise altimétrica do MDE no que se refere à dispersão dos pontos com relação ao PEC e o tipo de declividade.

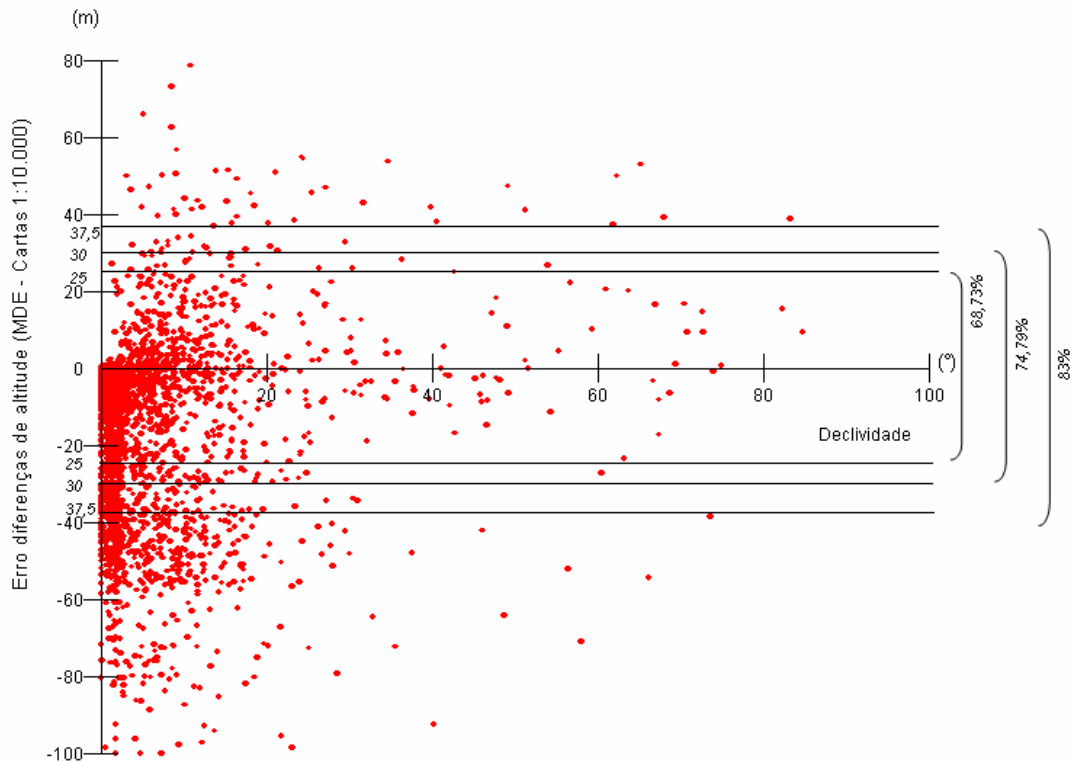


Figura 2: Gráfico de dispersão com destaque para o PEC relativo às cartas 1:100.000

O modelo gerado se aproxima das especificações necessárias para atender a classe C da escala 1:100.000 no que diz respeito a altimetria, apresentando 83 % dos pontos com erros relativos a diferença altimétrica em até 37,5 metros. A tabela 7 mostra o resultado alcançado tendo como referência a escala 1:250.000.

Tabela 7: Quantidade e percentual de pontos segundo intervalos de diferenças de altitude, separados segundo PEC 1:250.000

Intervalos(m)	Número de pontos	Percentual	Classes
0-50	10137	93,14%	A
0-60	10560	97,03%	B
0-75	10685	98,18%	C

Nesse caso o produto atende perfeitamente a classe A dessa escala. Quanto a análise da declividade o número total de pontos e os respectivos valores de declividade observa-se a seguinte relação conforme tabela 8.

Tabela 8: Pontos cotados e tipos de declividade na área de estudo

Declividade (°)	Número de pontos	Porcentagem	Tipo de Declividade
0-3	3915	35,98%	plano
3-8	2129	19,56%	suave ondulado
8-20	2618	24,05%	ondulado
20-45	1534	14,09%	forte ondulado
>45	687	6,31%	escarpado ou montanhoso

As áreas com declividade acima de 20° (2221 pontos) consideradas como classes de terreno fortemente ondulado ou escarpadas, apresentaram 90% dos pontos com erro em torno de 45,68m após análise do LE90. Por outro lado, as áreas com declividade abaixo de 25° (8662 pontos) apresentaram erro de 25,45m o que confirma a hipótese da ocorrência dos maiores erros associada às maiores declividades do terreno.

A maior concentração dos pontos cotados aparece em declividades de até 45° (figura 3) e, confirmando os resultados apresentados anteriormente os pontos com maiores erros estão destacados nas áreas com maior declividade, ou seja, acima de 45 graus, onde:

- ↓ E : Erro baixo (diferenças de altitude MDE Radarsat e cartas topográficas 1:10.000)
- ↑ E : Erro alto (diferenças de altitude MDE Radarsat e cartas topográficas 1:10.000)
- ↓ D : Declividade baixa ↑ D : Declividade alta

Gráfico de Dispersão Altimetria

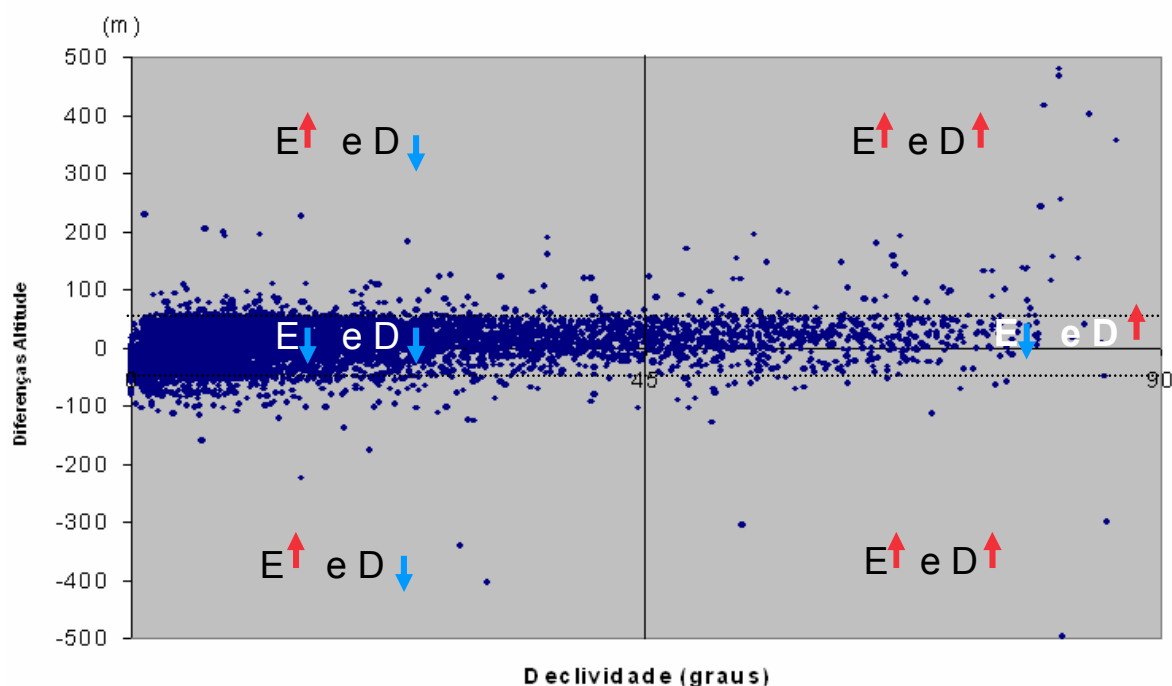


Figura 3: Gráfico de Dispersão para declividade e Erro (diferenças de altitude)

Para análise da correlação com o uso do solo foram extraídas para a tabela de atributos dos pontos cotados (em ambiente *ArcGIS* 9.0) as informações referentes ao uso e posteriormente, realizadas as análises estatísticas. O resultado pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9: Uso do solo e valores de diferença altimétrica máxima e mínima

Tipo de Uso	Erro máximo absoluto	Erro mínimo absoluto	EMQ
Urbano intenso	465	-122	32,29
Urbano médio	479	-159	34,79
Urbano rarefeito	204	-93	24,20
Floresta	152	-496	34,96
Mangue	401	-99	23,63
Mangue degradado	98	-129	26,86
Gramínea	355	-108	27,7
Água	106	-72	24,2
Área inundável	139	-102	23,4
Cultivo	224	-114	27,48
Várzea	57	-30	22,07
Solo exposto	78	-88	25,20
Afloramento Rochoso	45	-404	127,07

Os erros com relação à diferença altimétrica para as classes de uso do solo apresentaram um valor máximo de aproximadamente 500 metros observáveis nas classes afloramento rochoso e urbano intenso. Dessa forma, os maiores erros absolutos aparecem nas classes floresta, urbano intenso e urbano médio seguido da classe afloramento rochoso. Por outro lado, áreas de várzea, solo exposto e corpos d'água apresentaram os menores erros e conseqüentemente os melhores resultados. Com relação ao desvio padrão novamente as áreas alagadas (várzea) apresentaram o melhor resultado seguido ainda das áreas inundáveis e mangue. A classe afloramento rochoso apresentou um resultado bem distante dos valores médios observados pelas outras classes (127,07) o que pode ser explicado pelo fato da classe estar concentrada no alto do maciço da Tijuca e essa área apresentar os piores resultados em função das altitudes mais elevadas.

4. Conclusões

Após vários testes foi possível gerar um MDE com boa representação das formas de relevo e LE90 de 50,47 metros, possibilitando a produção cartográfica à escala 1:250.000, classe A, chegando bem próximo da classe C para escala 1:100.000. No que tange ao processo de geração dos modelos é fundamental aprimorar o processo de seleção dos pontos de controle em função deste influenciar diretamente o resultado obtido pelo MDE. Há uma enorme dificuldade no processo de seleção dos pontos de controle e cabe ao usuário aprimorar através da identificação de feições no terreno sua percepção sobre o correto posicionamento dos pontos. Para avaliar a qualidade planimétrica do produto é importante selecionar pontos de análise nas áreas mais elevadas do terreno, o que permitiria uma visão em todas as classes de terreno, do mais plano ao mais escarpado. Além disso, cabe ressaltar a importância da coleta de pontos de controle durante a geração do MDE que é uma vertente importante para o modo genérico e que não deixa de ser uma questão relevante para o modelo específico.

Os pontos cotados presentes nas áreas com relevo mais elevado e conseqüentemente maior declividade, apresentam os maiores valores de erro quando calculadas as diferenças entre os produtos. Sugere-se a coleta de mais pontos nessas áreas para uma análise com maior precisão.

Quanto à análise uso do solo é importante considerar as características peculiares do radar com, por exemplo, a sensibilidade às características dielétricas dos alvos o que afeta diretamente a qualidade visual das imagens. Sugere-se que em futuros trabalhos seja feita uma análise mais detalhada da resposta dada pelas imagens de radar no que diz respeito ao uso e cobertura do solo para a área de estudo, traçando uma correlação com o tipo de declividade e relevo da área.

Referências Bibliográficas

Coelho, A. L. (2002) **Geração de Modelos Digitais de Elevação a Partir de Pares Estereoscópicos Radarsat**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Cartográfica, IME – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. 157p.

Paradella, W. R; Cecarelli, I. C. F; Luiz, S; Oliveira, C.G; Okida, R. (2005) **Geração de Carta Topográfica com estéreo-pares fine do RADARSAT-1 e Dados ETM+ LANDSAT 7 em Ambiente de Relevo Montanhoso na Região Amazônica (Serra dos Carajás, Pará)**. In: *Revista Brasileira de Geociências*, Volume 35, 323-332p.

Paradella, W. R; Silva, M. M. Q. (2005) **Mapsar: um Radar Orbital para Aplicações na Amazônia**. *Revista InfoGEO*, edição 36, ano 07, p.34-36.