

Atenuação do efeito do desflorestamento em dados SRTM

Gabriel Thomé Brochado

Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
Quartel General do Exército, Bloco F, 2º andar – SMU – Brasília-DF, CEP 70.630-901
gabriel@dsg.eb.mil.br

Abstract. The SRTM data has been used in many areas of knowledge, however, the c-band does not allow the correct representation of the ground surface by the DEM. Artificial features can appear in regions where abrupt coverage changes are observed, such as the contact areas like forest and deforestation, often precluding the use of this data. In order to reduce specifically the deforestation effect a new method was developed in which the elevation gap between forest and deforestation coverages is reduced by raising every SRTM-DEM pixel inside the deforestation areas by a variable value. These variable values are obtained by the interpolation of sample height differences collected along the boundaries between areas of forest and deforestation. Forest areas and deforestation are identified from Landsat images with the date close to the SRTM flight. The corrected SRTM data was validated using a finer resolution reference DEM obtained by p-band interferometry, which was considered to represent the terrain topography. The results showed that the method successfully reduced the deforestation effects on the SRTM data.

Palavras-chave: SRTM, deforestation, canopy, correction, relief, height, landsat, p-band, desflorestamento, dossel, correção, atenuação, altura, landsat, banda-p.

1. Introdução

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi um projeto de cooperação internacional com o objetivo de gerar modelos digitais de elevação interferométricos em escala quase global (van Zyl, 2001), e até o presente é o melhor modelo topográfico disponível para muitas regiões. Desde fevereiro de 2000, modelos digitais de elevação (MDE) do SRTM foram disponibilizados gratuitamente para cerca de 80% da superfície terrestre (van Zyl, 2001), com resolução de horizontal de 3" (aproximadamente 90 metros no equador) e resolução vertical de 1 metro. Estes MDE foram obtidos através do processamento interferométrico dos dados adquiridos por um radar de abertura sintética operando na banda C, e se referem ao sobrevoo que ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 (van Zyl, 2001; Rabus et al., 2003).

Desde seu lançamento, os dados do SRTM tem sido utilizados em várias áreas do conhecimento, como hidrologia e geomorfologia. Todavia, a onda eletromagnética da banda C interage de maneira complexa com a cobertura vegetal, não permitindo a representação ao nível do solo da superfície terrestre pelo MDE. Em áreas onde a superfície é recoberta por vegetação alta e densa, o MDE pode representar o dossel, suavizando certas feições do terreno e destacando outras (Kellndorfer et al., 2004). Segundo Valeriano et al. (2006), irregularidades na altura do dossel podem afetar o cálculo de variáveis morfométricas a partir do MDE-SRTM e, segundo Rennó (2009), feições artificiais podem aparecer em regiões onde são observadas mudanças bruscas, tais como as áreas de contato de floresta com cerrado, floresta com desflorestamento ou de pastagem com mata ciliar, inviabilizando muitas vezes a utilização dos dados SRTM, principalmente quando o uso está relacionado a questões hidrológicas.

Com objetivo de atenuar esse problema, Rennó (2009) desenvolveu uma metodologia para redução do efeito do dossel no MDE-SRTM, onde foram utilizadas imagens TM/LANDSAT-5, para gerar máscaras do tipo floresta/desflorestamento, as quais serviram de base para a subtração de um valor de cota pré-definido nas áreas de floresta, compensando o desnível existente entre as duas coberturas. Os resultados obtidos por Rennó (2009) indicaram

uma grande melhoria do MDE, no que diz respeito à extração de rede de drenagem e outros atributos do terreno. Embora os artefatos provocados pela mudança abrupta entre classes de cobertura não tenham sido totalmente eliminados, sua presença não inviabilizou o uso do MDE corrigido.

Apesar dos resultados positivos alcançados, o método de Rennó (2009) apresenta a limitação de que, dentro de uma área de estudo, quanto mais variável for a altura da vegetação, devido a diferentes estágios de regeneração florestal ou variações naturais do dossel, mais difícil será de encontrar um valor de cota único que, quando subtraído das áreas de florestas, resulte na suavização dos desníveis bruscos de altura entre floresta e desflorestamento no MDE-SRTM. Tendo em vista esta limitação, foi desenvolvido um novo método de correção no qual a diferença de elevação entre coberturas floresta é reduzida somando-se um valor variável de cota à altura de cada *pixel* do MDE-SRTM que está dentro de um polígono de desflorestamento. Estes valores variáveis são calculados para cada *pixel* através da interpolação de amostras de diferença de altura entre as coberturas floresta e desflorestamento.

A avaliação dos resultados obtidos foi realizada utilizando como referência MDE de resolução mais fina, originado pelo processamento interferométrico de dados obtidos por um radar aerotransportado operando na banda P. Este MDE é um produto do Projeto Radiografia da Amazônia, que está sendo executado pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). O MDE referência foi considerado como representação da topografia do terreno devido a alta penetração da banda P no dossel. Mais informações sobre o Projeto Radiografia da Amazônia podem ser obtidas em Correia (2011).

2. Metodologia

A metodologia aplicada pode ser dividida em três partes principais: geração de polígonos de desflorestamento, correção do MDE-SRTM e validação. O fluxo de trabalho geral da metodologia é mostrado na Figura 1, e os detalhes de seus processos serão discutidos nas próximas subseções.

O método tem como objetivo atenuar o efeito do desflorestamento em dados SRTM somando às áreas desflorestadas a diferença de altura estimada entre as áreas de floresta e desflorestamento. As áreas de floresta e desflorestamento são obtidas a partir de uma classificação não-supervisionada por regiões de uma imagem ETM+/ Landsat-7. Os polígonos de desflorestamento obtidos a partir da classificação tem seus vértices deslocados para que coincidam com a grade do MDE-SRTM, resultando nos polígonos de desflorestamento conformados, os quais são utilizados nos processos subsequentes.

A diferença de altura (dA) é estimada pela interpolação de amostras de dA obtidas ao longo das fronteiras polígonos de desflorestamento. A interpolação origina um MDE- dA , que é recortado pelos polígonos de desflorestamento e somado ao MDE-SRTM. O resultado da soma dos MDE passa por um processo de suavização de bordas em que a zona de proximidade das bordas dos polígonos de desflorestamento são filtradas, gerando o MDE-SRTM corrigido.

O método foi aplicado a uma área de estudo próxima a cidade de Cruzeiro do Sul - Acre - Brasil, e o resultado foi comparado com o MDE de referência através das análises visual, por transectos, por modelos de regressão linear e pela extração de redes de drenagem.

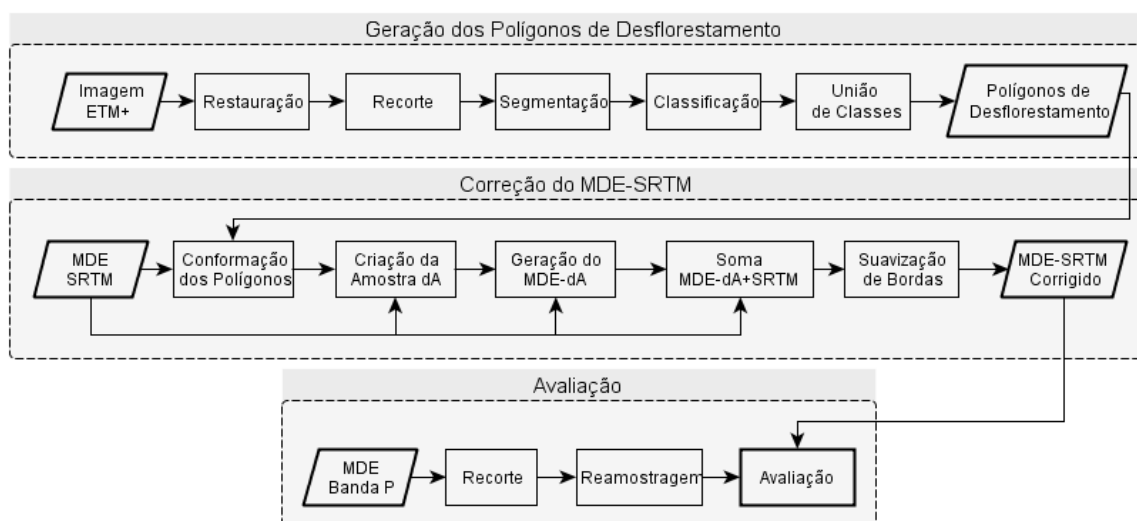


Figura 1 – Fluxograma metodológico geral. A sigla dA foi usada como abreviação para diferença de altura.

2.1 Geração dos polígonos de desflorestamento

Esta fase é dividida em cinco etapas: restauração de imagens, recorte da área de estudo, segmentação, classificação não-supervisionada e união de classes. A imagem utilizada foi a cena ETM+/Landsat-7 com órbita/ponto igual a 005/06 de 08 de setembro de 1999. Esta foi a imagem da área de estudo sem cobertura de nuvens adquirida na data mais próxima ao sobrevoo da missão SRTM.

A imagem foi restaurada a partir do método desenvolvido por Boggione e Fonseca (2003), projetada para projeção *lat-long* e recortada para a área de trabalho. As bandas 5, 4 e 3 foram dados de entrada para o método de segmentação por crescimento de regiões implementado Bins et al. (1996). Foram utilizados parâmetros área mínima e similaridade iguais a 20. A classificação não-supervisionada realizada utilizou o algoritmo *Isoseg* (DPI / INPE, 2006). As classes resultantes foram unidas, segundo a interpretação visual da cena, reduzindo-as a duas: floresta e desflorestamento.

O maior problema do método é adquirir uma imagem apropriada, porque a contínua cobertura de nuvens sobre algumas regiões pode impedir a aquisição de uma imagem com data próxima a data de aquisição dos dados do SRTM. Quanto maior o intervalo de tempo entre os dois conjuntos de dados mais incompatibilidades entre as coberturas de floresta e desflorestamento da imagem e seus correspondentes no MDE-SRTM podem ser esperadas. Isto se ocorre devido à natureza dinâmica do fenômeno de desflorestamento e acarreta em perda de qualidade do resultado do método.

2.2 Correção do MDE-SRTM

Esta fase se divide também em cinco passos: conformação dos polígonos de desflorestamento à grade do MDE-SRTM, criação da amostra de diferenças de alturas (dA), geração do MDE-dA, soma dos MDE e suavização de bordas. O MDE-SRTM utilizado estava originalmente projetado em *lat-long* (*datum* WGS 84) com a resolução de 3". Estas configurações não foram alteradas durante o processo de correção.

A conformação dos polígonos de desflorestamento à grade do MDE-SRTM é realizada para prevenir que as bordas dos polígonos cruzem os *pixels* do MDE-SRTM, melhorando

assim os processamentos matriciais subsequentes. O resultado desta conformação é exemplificado na Figura 2.

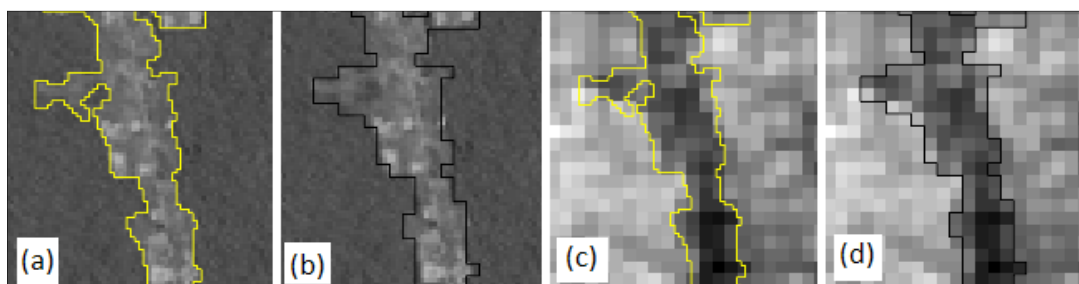


Figura 2. Conformação de polígonos à grade MDE-SRTM. Em (a) e (b) a banda 5 do sensor ETM+/LANDSAT-7 está sobreposta respectivamente pelos polígonos de desflorestamento original e conformado. Em (c) e (d) o MDE-SRTM está sobreposto respectivamente pelos polígonos de desflorestamento original e conformado.

Na criação dos pontos da amostra de dA os polígonos de desflorestamento conformados são dilatados e erodidos por uma e por duas vezes a dimensão do *pixel* do MDE-SRTM, gerando quatro polígonos. O polígono dilatado de maior área é recortado pelo polígono dilatado de menor área, gerando o polígono do tipo faixa exterior. Similarmente, o polígono erodido de maior área é recortado pelo polígono erodido de menor área, gerando o polígono do tipo faixa interior. Os pontos centrais dos *pixels* do MDE-SRTM pertencentes aos polígonos do tipo faixa exterior são pareados com o ponto central mais próximo pertencente ao seu respectivo polígono do tipo faixa interior. A dA entre os pontos centrais pertencentes aos polígonos do tipo faixa exterior e seus respectivos pares é calculada. Portanto, a cada ponto central pertencente a um polígono do tipo faixa exterior foi atribuído um dA. Destes pontos foram excluídos aqueles que estivessem se sobrepondo a algum dos polígonos originais (sem dilatação ou erosão), por não representarem valores de dA entre as coberturas de floresta e desflorestamento.

A conformação dos polígonos de desflorestamento e a criação da amostra de dA foram realizadas conforme o fluxograma apresentado na Figura 3.

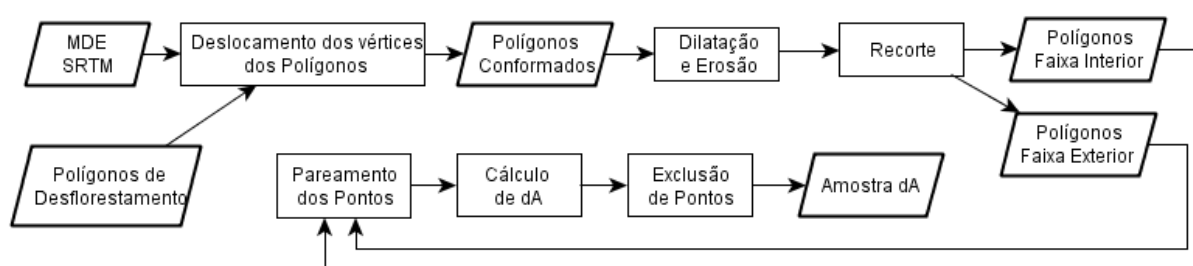


Figura 3. Fluxograma da conformação dos polígonos de desflorestamento e da criação da amostra de dA.

Na geração do MDE-dA, interpolou-se, a partir da amostra de dA, um valor de dA para os pontos centrais dos *pixels* do MDE-SRTM pertencentes aos polígonos conformados. O método de interpolação utilizado foi a média dos 12 pontos da amostra dA mais próximos. Os pontos interpolados foram utilizados para gerar o MDE-dA, o qual foi recortado pelos polígonos conformados e, então, somado ao MDE-SRTM, gerando o MDE-SRTM corrigido bruto.

O fluxograma da Figura 4 apresenta a sequência de procedimentos que compõe os passos de geração do MDE-dA e sua soma com o MDE-SRTM.

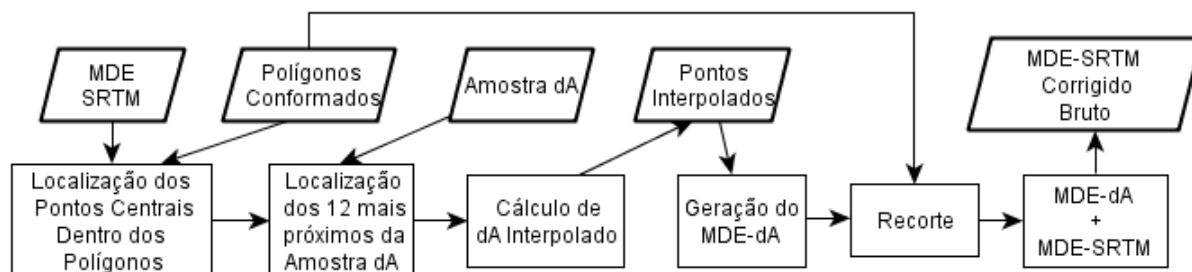


Figura 4. Fluxograma da geração do MDE-dA e soma com o MDE-SRTM.

A suavização de bordas é realizada porque as incompatibilidades entre as coberturas de floresta e desflorestamento da imagem e seus correspondentes no MDE-SRTM podem acarretar, após a adição/subtração matricial entre os MDE, na subestimação ou superestimação dos valores de altura de alguns *pixels*, o que ocorre, mais frequentemente, naqueles *pixels* que tocam as bordas dos polígonos de floresta ou desflorestamento. Para a execução deste processo, o MDE corrigido bruto é filtrado por um filtro de mediana com janela 3x3 e é recortado por uma zona de proximidade das bordas dos polígonos com dimensão de um *pixel* do MDE-SRTM. O recorte gera um MDE contendo apenas bordas suavizadas, o qual é sobreposto ao MDE-SRTM corrigido bruto não filtrado, ou seja, os valores dos *pixels* do primeiro substituem os valores dos *pixels* do segundo, e assim é gerado o MDE-SRTM corrigido final. O fluxograma da Figura 5 apresenta a sequência de procedimentos que compõe o processo de suavização de bordas.

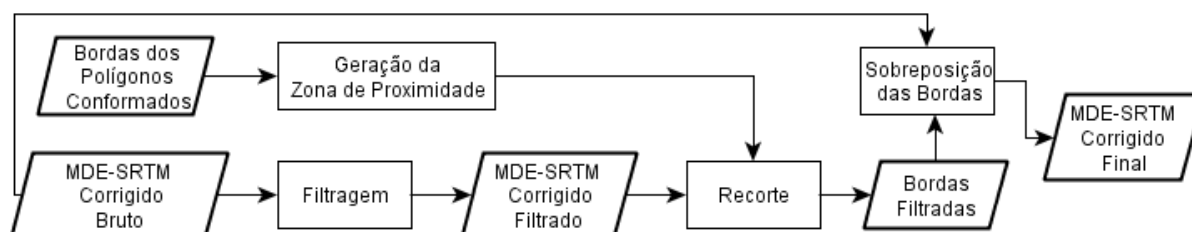


Figura 5. Fluxograma da suavização de bordas.

2.3 Avaliação

No processo de avaliação, o MDE de referência, que estava originalmente projetado em UTM e com dimensão do *pixel* de 5 metros, foi reprojetoado e reamostrado para as mesmas configurações do MDE-SRTM e, então, recortado para a área de estudo. O método de reamostragem utilizado foi o de agregamento de *pixels*, no qual é feita a média de todos os *pixels* de entrada que contribuem para o *pixel* de saída.

A comparação visual entre os MDE de entrada, saída e referência utilizados no método é apresentada na Figura 6. O método reduziu com sucesso as depressões artificiais relacionadas ao desflorestamento no MDE-SRTM, conservando as características topográficas dentro dessas áreas, aumentando, portanto, a semelhança do MDE-SRTM com o MDE referência.

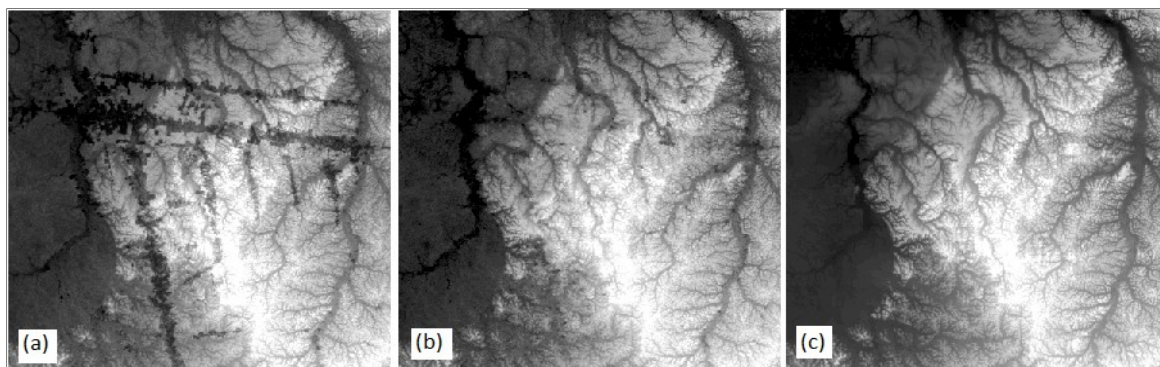


Figura 6. Comparação dos MDE. Em (a) o MDE-SRTM original, em (b) o MDE corrigido e em (c) o MDE referência.

Transectos foram traçados sobre os MDE para melhor analisar o efeito da correção realizada. Na Figura 7 é apresentado um exemplo de transecto no qual pode se observar que o método eliminou as sobreposições existentes entre as curvas geradas a partir dos transectos originais e de referência, tornando a curva original mais próxima de uma curva paralela a curva referência.

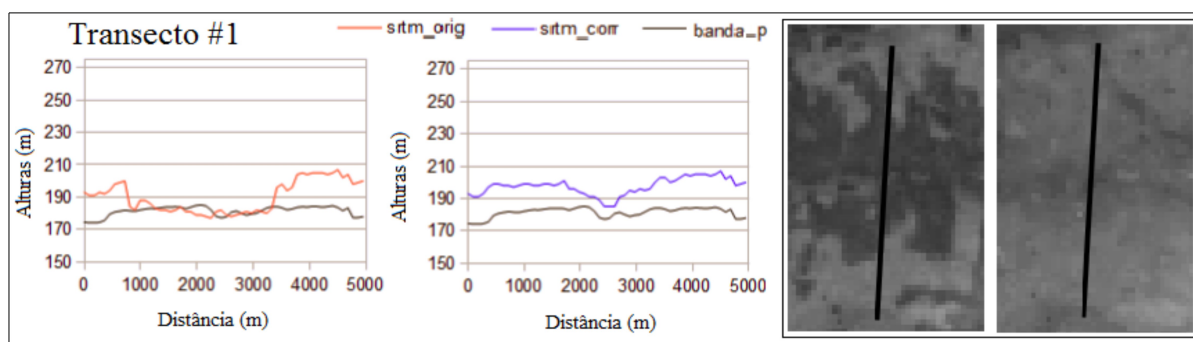


Figura 7. Transecto #1. As linhas vermelhas, azuis e pretas nos gráficos representam, respectivamente, as curvas geradas a partir das alturas dos MDE-SRTM original (srtm_orig), corrigido (srtm_corr) e do DEM de referência (banda_p). Na direita são mostradas as áreas do MDE-SRTM original e corrigido por onde passa o transecto.

Uma amostra aleatória de 1.000 pontos foi gerada sobre a área de estudo e os valores de altura original, corrigido e referência dos MDE. Os pontos foram utilizados para construir gráficos de dispersão dos MDE original e corrigido em relação ao MDE referência. A redução da dispersão após a aplicação do método de correção pode ser vista na Figura 8. Os pontos aleatórios também foram utilizados para calcular a regressão linear das alturas dos MDE original e corrigido em relação ao MDE de referência. As linhas correspondentes aos modelos de regressão estão desenhados como linhas pretas na Figura 8, e as linhas amarelas representam o melhor ajuste possível, isto é, se os MDE fossem iguais ao MDE referência. As equações $f(x)$ das linhas de regressão e o respectivo R^2 também são apresentados na Figura 8.

O modelo de regressão do MDE-SRTM corrigido apresentou o melhor ajuste, com um valor maior R^2 , apesar de as linhas de regressão encontradas serem muito semelhantes. Pode se esperar que a diferença entre os modelos seja maior em áreas de estudo com polígonos de desmatamento maiores.

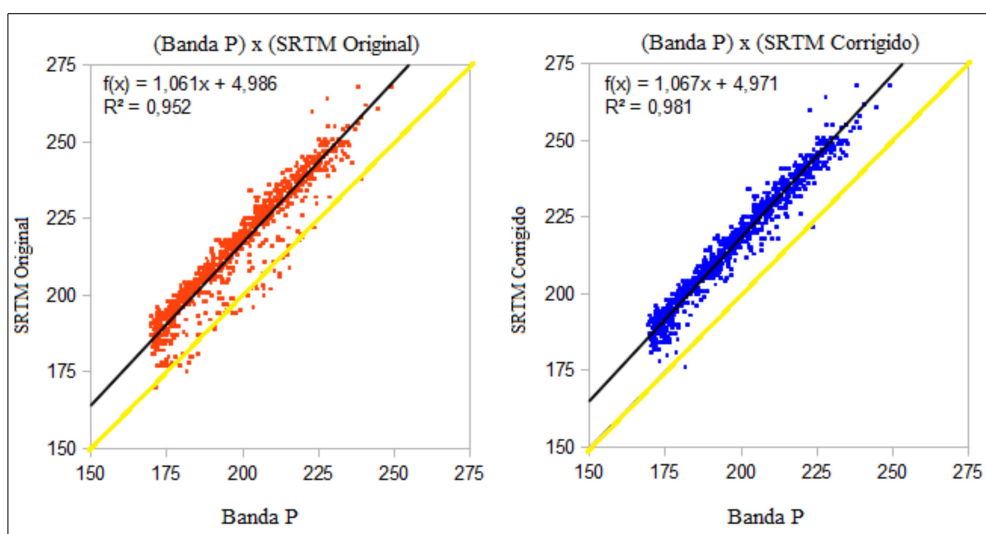


Figura 8. Gráficos de dispersão do MDE-SRTM original (vermelho) e corrigido (azul) em relação ao MDE referência. As linhas pretas representam as linhas encontradas pelos modelos de regressão. As linhas amarelas representam o melhor ajuste possível.

As redes de drenagem foram extraídas automaticamente a partir dos três MDE utilizando o algoritmo detalhado em Rosim et al. (2013), adotando um valor de limiar igual a 200. Os resultados da extração são mostrados na Figura 9, onde os retângulos vermelhos destacam as linhas de drenagem criadas devido às depressões artificiais no MDE-SRTM original. Estas depressões fazem com que os algoritmos de extração de gerem linhas de drenagem falsas e que, muitas vezes, acabam conectando outras linhas de drenagem existentes que não deveriam estar conectadas. Este efeito pode causar grandes problemas em modelagens hidrológicas, mas, como pode ser visto na Figura 9, o método de correção reduziu fortemente este efeito, apresentando um resultado próximo ao da rede de drenagem extraída do MDE referência.

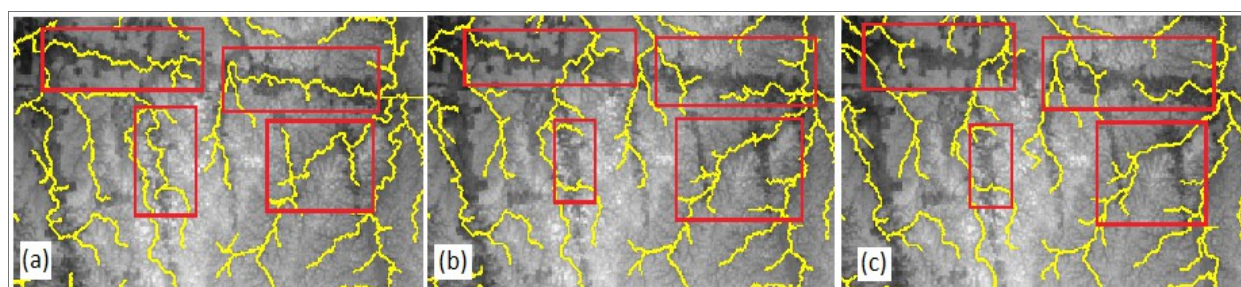


Figura 9. MDE-SRTM original sobreposto pela rede de drenagem extraída de (a) do MDE-SRTM original (b) do MDE corrigido e (c) do MDE referência. Os retângulos vermelhos destacam linhas de drenagem criadas devido às depressões artificiais no original MDE-SRTM.

3. Conclusão

Um novo método para reduzir o efeito do desflorestamento nos dados SRTM foi desenvolvido neste trabalho. Os dados de entrada para o método imagens ETM+/LANDSAT-7 e o MDE-SRTM com resolução de 3", ambos distribuídos gratuitamente com uma cobertura quase global. O MDE-SRTM resultante foi avaliado utilizando um MDE de resolução mais fina, gerado a partir de interferometria da banda P, e mostrou resultados proeminentes. As

depressões artificiais no MDE-SRTM relacionadas ao desflorestamento foram, em grande parte, reduzidas. Os transectos gerados a partir do SRTM original foram corrigidos de forma a se tornarem mais próximos do transectos derivados do MDE de referência. O gráfico de dispersão do MDE-SRTM corrigido apresentou menor dispersão em relação ao MDE referência e as regressões lineares realizadas também resultaram em um valor mais elevado de R^2 para o SRTM corrigido. A extração de drenagem apresentou forte redução da geração de drenagens falsas no interior das depressões artificiais relacionadas ao desflorestamento no MDE-SRTM

A principal dificuldade do método é a aquisição de uma imagem apropriada, devido à persistente cobertura de nuvens em algumas regiões combinada com a necessidade da utilização de uma imagem com boa correlação temporal com os dados SRTM. As possibilidades de utilização mais do que uma imagem para evitar a cobertura de nuvens na geração dos polígonos de desflorestamento; o desenvolvimento de um método de que, em vez de elevar os polígonos de desflorestamento reduza a altura dos polígonos de floresta; o aperfeiçoamento tanto da técnica de classificação como do método de interpolação podem ser instrumentos de novas pesquisas.

Referências

- Bins, L. S.; Fonseca, L. M. G.; Erthal, G. J.; Li, F. M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 8. (SBSR), 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 677-680. CD-ROM. ISBN 85-17-00014-5. (INPE-6231-PRE/2321). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>>. Acesso em: 17 set. 2014.
- Boggione, G. A.; Fonseca, L. M. G. Restoration of Landsat-7 Images. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 30L (ISRSE), 2003, Hawaii, HA. **Proceedings...** 2003. Papel, On-line. (INPE-10574-PRE/6037). Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/01.13.13.12/doc/Restore....pdf>> Acesso em: 17 set. 2014.
- Correia, A. H. Metodologias e Resultados Preliminares do Projeto Radiografia da Amazônia. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8083-8090. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1032.pdf>> Acesso em: 17 set. 2014
- DPI/INPE. Manuais: Tutorial de Geoprocessamento, 2006. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>>. Acesso em: 17 set. 2014
- Kellndorfer, J., Walker, W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J.A., Hunsaker, C., Vona, J., Clutter, M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. **Remote Sensing of Environment**, vol. 93, n. 3, p. 339-358, 2004.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topography Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, pp. 241-262, 2003.
- Rennó, C. D. Redução dos efeitos do desmatamento sobre modelo digital de elevação do SRTM usando imagem TM/LANDSAT. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7095-7102. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.22.13>>. Acesso em: 17 set. 2014.
- Rosim, S.; Oliveira, J. R. F.; Jardim, A. C.; Namikawa, L. M.; Rennó, C. D. Terrahidro: a distributed hydrology modelling system with high quality drainage extraction. In: International Conference On Advanced Geographic Information Systems, Applications, And Services, 5., 2013, Nice. **Proceedings...** 2013. P. 161-167. Dvd. Isbn

978-1-61208-251-6. Disponível Em: <http://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=geoprocessing_2013_7_20_30125>. Acesso Em: 17 set. 2014.

Valeriano, M. M.; Kuplich, T. M.; Storino, M.; Amaral, B. D.; Mendes Júnior, J. N.; Lima, D. J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. **Computers and Geosciences**, v. 32, n. 8, p. 1169-1181, Outubro 2006. (INPE-14635-PRE/9637).

Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57>>. Acesso em: 17 set. 2014.

van Zyl, J. J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, v. 48, n. 5, pp. 559-565, 2001.