

Dados LiDAR e análise orientada a objeto no monitoramento de manejo florestal

Luciana Spinelli Araujo ¹
Michael Keller ^{1,2}
Marcus Vinicio Neves d'Oliveira ³
Daniel Victoria ¹
Douglas Morton ⁴
Celina Maki Takemura ¹
Maria O'Healy Hunter ⁵

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
{spinelli, daniel, celina}@cnpm.embrapa.br

² USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry
Jardín Botánico Sur, 1201 Calle Ceiba
San Juan, Puerto Rico, 00926 USA
mkeller.co2@gmail.com

³ Embrapa Acre
Rodovia BR-364, km 14 - 69900-056 - Rio Branco - AC, Brasil
mvno@cpafac.embrapa.br

⁴ Goddard Space Flight Center
8800 Greenbelt Rd. - Greenbelt - Md., 20771, EUA
douglas.morton@nasa.gov

⁵ University of New Hampshire
105 Main Street Durham, NH 03824, EUA
hunter.maria@gmail.com

Abstract. Although selective logging activity has declined significantly in the past decade, it is still an important land use that affects biological diversity and carbon stocks in the Brazilian Amazon. We present initial results of the application of an object-oriented analysis of airborne small-footprint lidar data as a tool for monitoring forest management in the Antimary State Forest in Acre. For a trial area logged within a few months prior to data acquisition, we processed the lidar returns to calculate the relative density of returns between 0 and 1 m height. The resulting product highlights areas with bare-ground or minimal ground vegetation allowing us to visualize the network of roads and skid trails beneath the forest canopy. The product was segmented and classified into two categories: (1) roads and skid trails and (2) and all other. The resulting classification was compared to a reference data set developed by visual interpretation and validated by GPS ground control points. We found that 67.0% of the areas were correctly classified by our technique demonstrating the potential of this tool. In the future we hope to minimize the uncertainty in the classification by inclusion of more parameters into the decision rules for automated segmentation.

Palavras-chave: Amazon Forest, laser scanning, eCognition, Floresta Amazônica, varredura a laser, eCognition.

1. Introdução

Apesar de ter retrocedido nos últimos anos, a taxa de exploração madeireira, atividade de extração de madeiras de alto valor comercial, ainda é responsável por parte das mudanças de uso da terra da Amazônia, interferindo na estrutura florestal, com perda da diversidade de espécies e de carbono florestal.

Segundo dados de 2010 do Projeto Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD), que mapeou áreas de floresta degradada e com tendência a ser convertida em corte raso no período entre 2007 e 2010, uma área de 7.508 km² da Amazônia Legal foi identificada com diferentes níveis de degradação - moderada para área em regeneração após exploração, alta para exploração ativa e leve quando da evidência de abertura de estradas de acesso. Desse total, 255 km² foram convertidos em áreas de corte raso entre 2010 e 2011 (INPE, 2012a). Esses dados tem como base imagens TM/Landsat e CBERS e se inserem em um conjunto de informações sobre exploração madeireira na Amazônia Brasileira oriundo de estudos com diferentes técnicas de processamento de imagens (Maldonado et al., 2010; Espírito-Santo et al., 2004; Nepstad et al., 1999; Araujo et al., 2001), auxiliando na caracterização da dinâmica da atividade.

A atividade de exploração madeireira na forma de concessão para manejo florestal vem sendo gerida pelo governo do país com base na Lei de Gestão de Florestas Públicas (11.284/2006), através do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), evitando assim a conversão do uso do solo para outros fins (SFB, 2012). Essas áreas de concessão de manejo florestal têm como uma de suas premissas a existência de um Plano de Manejo Florestal Sustentável, cuja implantação é monitorada pelo SFB empregando diversos mecanismos, dentre os quais os sistemas de sensoriamento remoto. Nesse contexto se insere a tecnologia *Light Detection And Ranging* (LiDAR), que usa sensores aerotransportados, cujos dados resultam em um conjunto de pontos com informações da estrutura horizontal e vertical da superfície analisada, gerando modelos digitais do terreno em 3D de alta resolução. Em áreas de manejo florestal, os dados oriundos de levantamento com LiDAR são usados para a caracterização planialtimétrica do terreno, estimativa de biomassa (Treuhart et al., 2010), e na identificação e medição dos impactos produzidos pelas operações florestais de abertura de estradas e pátios de estocagem, trilhas de arraste de madeira e clareiras (d'Oliveira et al., 2012). O delineamento dessa infraestrutura gerado por LiDAR pode ser confrontado com dados dos Planos de Manejo para monitoramento das ações previstas pelas empresas certificadas e relacionado aos diversos níveis de degradação da atividade.

Para esses produtos derivados dos levantamentos com LiDAR, como outras imagens de alta-resolução, processamentos convencionais de classificação não são eficientes para extrair as informações desses dados e a análise orientada a objeto vem sendo uma opção. Nessa abordagem a imagem é analisada partir de pequenos segmentos, os objetos, gerados no processo de segmentação. Os objetos com características em comum são agrupados em classes, que são estruturadas formando uma rede hierárquica, onde as classes de um nível inferior (subclasses) herdam as características da classe do nível superior (superclasse). A etapa de classificação dos objetos é baseada em regras, onde o conhecimento do usuário é usado para criar um conjunto de critérios para identificação dos objetos, como características de cor, textura, forma e contexto.

Assim, o objetivo do trabalho é apresentar resultados iniciais da aplicação da análise orientada a objeto em dados LiDAR como subsídio ao monitoramento de áreas de manejo florestal.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A Floresta Estadual de Antimary (FEA) está localizada no Estado do Acre (Figura 1), entre as coordenadas 68°01' a 68°23' W e 9°13' a 9°31' S. Com área total de 76.832 ha, formada por um mosaico de floresta densa e floresta aberta com bambu ou palmeiras (Funtac, 2012), a FEA possui áreas de manejo florestal, contendo explorações recentes e antigas. De modo geral, essas áreas manejadas, onde se inclui a amostra selecionada para as análises, de

252 ha, caracterizam-se por área basal de 22,5 m²/ha, biomassa de 231 Mg/ha e baixa intensidade de exploração, de 10 a 15 m³/ha (d'Oliveira et al., 2012).



Figura 1. Localização da Floresta Estadual de Antimary (em vermelho), no estado do Acre, região norte do Brasil.

2.2 Dados LiDAR

Os dados LiDAR, modo *small-footprint*, foram adquiridos em 2011 com equipamento Optech ALTM 3100EA, tendo densidade média de retorno acima de 20 pontos por m² e precisão horizontal e vertical estimada de 0,50 e 0,15 m, respectivamente. Os dados referentes a FEA incluem 12 arquivos no formato *las*, totalizando 1.000 ha de área adquirida.

2.3 Dados de referência

Os dados de referência constituem-se de dados digitais relativos às estradas e trilhas da área de estudo gerados manualmente sobre o modelo digital de densidade relativa de vegetação entre 1 e 5 m e validados com informações de GPS coletadas em campo (d'Oliveira et al., 2012). A partir desse dado foi gerado um *buffer*, considerando a extensão média de campo de 12 metros para delimitar a faixa referente às estradas e 8 metros para as trilhas. Esse produto foi empregado como dado para validar a classificação da imagem.

2.4 Metodologia

Os dados LiDAR, em formato *las*, foram processados inicialmente no *software RSC LAS Tools* versão 1.9.3 (Armston, 2012), gerando um produto com 1 metro de resolução referente a densidade relativa dos retornos entre 0 e 1 m sobre o total de pontos na célula, segundo metodologia detalhada em d'Oliveira et al. (2012). Essa imagem resultante foi então processada no *software eCognition Developer* versão 8.7.0, considerando 3 etapas:

- Definição das classes temáticas a serem identificadas, a partir da análise preliminar dos dados e conhecimento da área de estudo;
- Segmentação, considerando diferentes parâmetros de testes, como escala, que define o tamanho dos objetos, e heterogeneidade (forma e compactação), que define a uniformidade dos objetos;
- Classificação, onde os objetos são associados às classes temáticas em função de características definidas pelo usuário. Nessa etapa, foi realizada a análise dos histogramas de amostras das imagens para definição de atributos discriminantes das classes e definida a hierarquia de classes para a classificação.

Posteriormente, as classificações resultantes foram exportadas em formato vetor, e analisadas no *software ArcGIS* versão 10.0 em relação aos dados de campo através da quantificação de áreas corretamente classificadas e análise de incertezas da classificação, com cálculo dos erros de inclusão e exclusão.

3. Resultados e Discussão

O monitoramento da atividade de exploração madeireira com base em imagens multiespectrais de média resolução é realizado empregando principalmente sinais de evidência da degradação, como delimitação da região com pátios de estocagem da madeira ou com indicativos da retirada de árvores emergentes (INPE, 2012b). Nessas análises, contudo, quase não se tem informações da atividade no solo - forma e distribuição da ocupação da área pela exploração de baixa e média intensidade. A possibilidade de extrair essas informações sob o dossel denso e ainda ter quantificada a área impactada é destacada no produto resultante do processamento dos dados LiDAR considerando a densidade relativa dos retornos entre 0 e 1 m, em que as células mais claras referem-se aos locais onde a porcentagem de retorno nessa faixa é baixa, ou seja, há menos vegetação nesse extrato analisado. Nessa imagem (Figura 2a), as áreas abertas referentes às estradas e trilhas de arraste são ressaltadas em relação ao restante da área com floresta explorada, como pode ser observado com a sobreposição dos dados de campo (Figura 2b). Essa análise inicial da imagem direcionou a definição das três classes temáticas de interesse para as análises - estradas, trilhas de arraste e floresta.

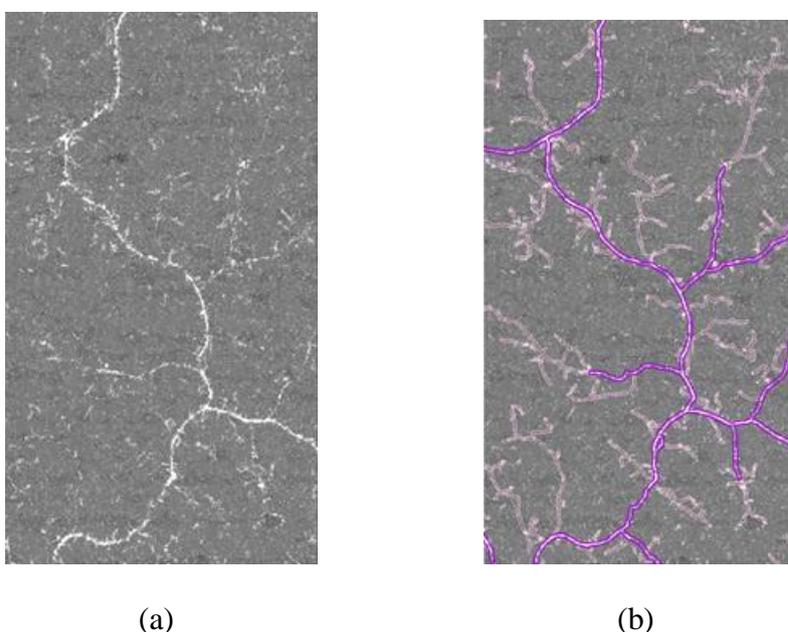


Figura 2. (a) Imagem resultante do processamento de dados LiDAR considerando a densidade relativa dos retornos entre 0 e 1 m sobre o total de pontos na célula e (b) a mesma imagem com sobreposição dos dados de estradas (em magenta) e trilhas de arraste (em rosa) coletados em campo.

Apesar das áreas abertas por estradas e trilhas serem visualmente identificadas, o objetivo de automatizar o processo de extração dessa informação é otimizar a quantificação de áreas impactadas em florestas manejadas e aprimorar seu monitoramento. Assim, a primeira etapa incluiu testes para a segmentação da imagem, resultando na definição dos parâmetros - Escala: 5, Forma: 0,1 e Compactação: 0,5. O emprego desses parâmetros possibilitou delimitar pequenos polígonos (Figura 3a) referentes às aberturas no extrato analisado. A partir da imagem segmentada e considerando o conhecimento de campo, foram selecionadas amostras para cada classe e analisados alguns de seus atributos. Os histogramas demonstraram o comportamento similar das classes estradas e trilhas (Figura 3b), optando-se por agrupá-las e empregar para os demais processamentos as superclasses áreas abertas e áreas não abertas, discriminadas nas análises dos gráficos (Figura 3c).

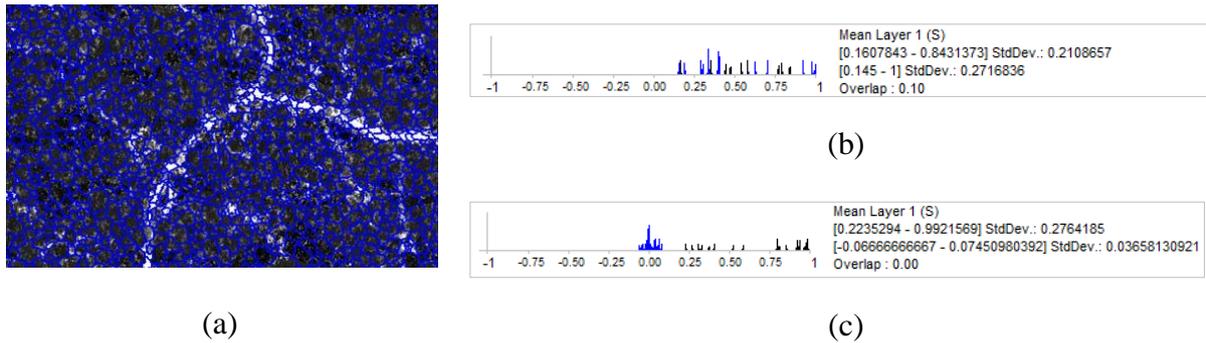


Figura 3. (a) Trecho da imagem segmentada e histogramas do atributo média dos objetos na imagem LiDAR para as amostras das classes (b) estradas (em preto) e trilhas de arraste (em azul) e (c) áreas abertas (em preto) e áreas não abertas (em azul).

A classificação foi então gerada com o atributo média dos objetos na imagem LiDAR, sendo o melhor discriminante das classes, considerando a hierarquia de classes (Figura 4a) com áreas abertas, incluindo estradas e trilhas, e áreas não abertas, referentes à vegetação florestal, resultando na classificação final (Figura 4b). O produto especificamente com as áreas abertas foi então analisado em relação aos dados de referência (Tabela 1).

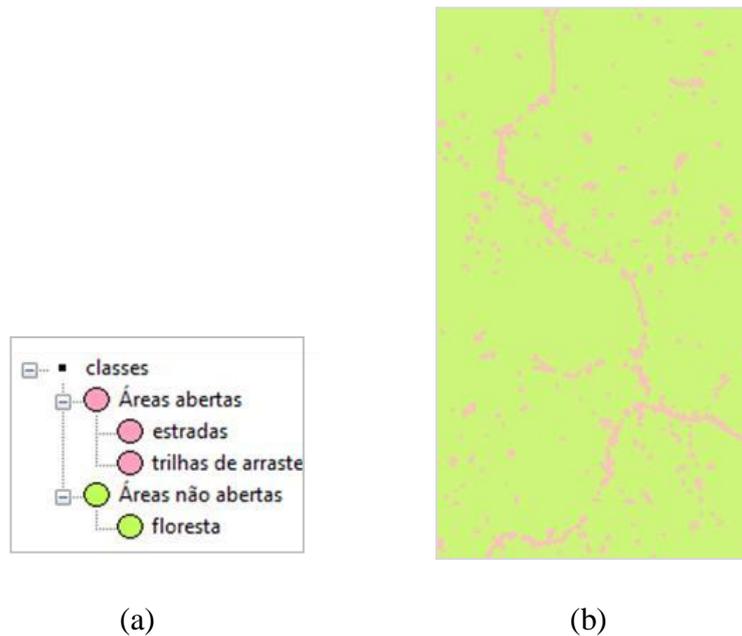


Figura 4. (a) Hierarquia de classes e (b) imagem classificada com as classes áreas abertas (em rosa) e não abertas (em verde).

Tabela 1. Quantificação de áreas corretamente classificadas e análise de incertezas da classificação.

Área total	171,4 ha
Área com estradas e trilhas (medida de referência)	16,3 ha
Área com estradas e trilhas (classificação)	6,4 ha
Áreas corretamente classificadas	67,0 %
Erros de inclusão	33,0 %
Erros de exclusão	73,7 %

De forma geral, o processamento identificou as principais feições referentes às estradas e trilhas, conforme a quantificação de áreas corretamente classificadas, com 67% de concordância entre dados de referência e classificação. Contudo, a análise dos erros de inclusão e de exclusão indicam as principais dificuldades nessa avaliação inicial. A taxa de inclusão, de 33% referentes aos polígonos que foram classificados como áreas abertas e não o são, em parte são associados aos pátios de estocagem, árvores abatidas e clareiras naturais, cujas informações de campo não foram inclusas neste processo de validação. Também se deve considerar que os dados de referência foram gerados apenas em relação à trajetória das estradas e trilhas de arraste e com extensões fixas de *buffer*, não considerando particularidades de borda da floresta também impactada, o que refletiria nas margens irregulares dos polígonos classificados como áreas abertas e na taxa de erros de inclusão.

Para o erro de exclusão, de 73,7% referentes aos polígonos que não foram classificados como áreas abertas e são integrantes dessa classe, o principal problema identificado durante o processamento é a descontinuidade das estradas e especialmente as trilhas, resultando na incerteza da classificação. Tal fato pode estar associado a possível menor densidade de pontos dos dados LiDAR em algumas áreas, refletindo em ausência de informações pontuais, ou também pela ocorrência de material nas estradas e trilhas, como resíduos da atividade de extração e a própria regeneração da vegetação, que resultaria em maior densidade de retornos nessa faixa de elevação. Essa descontinuidade também pode ser resultado do dossel mais denso e com mais estratos interferindo nos retornos dos sinais, especialmente nas trilhas de arraste, com menor área aberta que as estradas.

Para as próximas etapas estão previstas a análise conjunta de produtos referentes à densidade relativa dos retornos em outras faixas de elevação e a inclusão de outros atributos, principalmente considerando a forma linear das classes de interesse, para aprimorar a classificação dessas áreas abertas. Essas análises iniciais também serão base para o planejamento de atividades de campo em outras áreas de estudo, auxiliando na definição de itens a serem coletados para o processo de validação de dados, como as larguras médias de estradas e trilhas de arraste.

4. Conclusões

A possibilidade de extrair informações da atividade madeireira sob o dossel florestal denso e de estimar o grau de impacto do manejo a partir da relação da estrutura florestal com a extensão e distribuição de áreas abertas direcionam para a necessidade de otimização dos processamentos envolvidos no emprego de dados LiDAR. Os resultados iniciais apresentados demonstraram o potencial da metodologia baseada na análise de orientada a objeto nesses produtos LiDAR como subsídio ao monitoramento de manejo florestal, contudo mais parâmetros podem ser inseridos nas regras de classificação para aprimorar a extração automática de dados.

Referências Bibliográficas

Armston, J. RSCLASTOOLS. Disponível em: < <http://code.google.com/p/rsclastools/>>. Acesso em: 08 out.2012.

Araujo, L.S. ; Santos, J. R. ; Krug, T.; Shimabukuro, Y.E.; Lacruz, M.S.P. Multitemporal TM/Landsat images for timber exploitation areas in the Brazilian Amazonia.. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS, 2001, Sydney, Australia. **Proceedings**... Piscataway, NJ - EUA: IEEE - Institute of Electrical and Eletronics Engineers, Inc., 2001, p. 1645 – 1647.

d'Oliveira, M.V.N.; Reutebuch, S.E.; McGaughey, R.J.; Andersen, H. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon, **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 479-491, 2012.

Espírito-Santo, F.D.B.; Santos, J.R.; Silva, P.G. Técnicas de processamento de imagens e de análise espacial para estudo de áreas florestais sob exploração madeireira. **Revista Árvore**, v. 28, n.5, p. 699-706, 2004.

Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC). A Floresta Estadual do Antimary. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/degrad/>>. Acesso em: 10 ago.2012.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira - DEGRAD. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/degrad/>>. Acesso em: 20 set.2012 (a).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites - Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD E QUEIMADAS 2007-2008. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>. Acesso em: 09 out.2012 (b).

Maldonado, F. D. ; Graça, P. M. L. A. ; Santos, J. R. Dinâmica do comportamento radiométrico em áreas sob exploração florestal a partir da análise de frequência de feições no espaço de atributos bidimensional. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 9, 2010, Curitiba. **Anais**... Curitiba: FUPEF_UNICENTRO, 2010. p. 312-317.

Nepstad, D.C.; Veríssimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.; Brooks, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, 398, p. 505-508, 1999.

Treuhaft, R.N.; Gonçalves, F.G.; Drake, J.B.; Chapman, B.D.; Santos, J.R.; Dutra, L.V.; Graça, P.M.L.A.; Purcell, G.H. Biomass estimation in a tropical wet forest using Fourier transforms of profiles from lidar or interferometric SAR. **Geophys Res Lett.**, 37:, L23403, 2010.