

Efeito de borda caracterizado com uso de dados LiDAR em uma paisagem florestal degradada no município de Paragominas (PA)

Maiza Nara dos-Santos¹
Ekena Rangel Pinagé¹
Marcos Longo¹
Luciana Spinelli-Araujo¹
Michael Keller^{1,2}

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil
maizanara@gmail.com, ekenapinage@hotmail.com, mdplongo@gmail.com,
luciana.spinelli@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

Abstract. We tested a methodology to quantify edge effects in a degraded area of Amazon forest based on LiDAR data. We selected 3 forest edges in Paragominas municipality, Para state, Brazil, and compared the 95th height percentile derived from LiDAR for samples distributed in different edge widths ranging from 10m to 540m from the forest boundary. The interface of a forested and non-forested area is represented by 2 edges, whereas the third edge represents an interface of natural forest and a forest plantation. LiDAR data proved to be an efficient and sensitive tool to detect changes in canopy height among different edge widths. We observed that for two edges, height differences are distinguishable from 30 to 70m of distance from the forest boundary. The third edge, bounded with a more degraded forest, presented edge effects for height up to 300m. While the methodology presented here is a first approach to use LiDAR data to quantitatively characterize edge effects, the replication of this methodology for larger areas and in different regions could improve the understanding of edge effects and its impact on the biomass stock in forests of the Amazon region.

Palavras-chave: Edge effects, LiDAR, forest degradation, efeito de bordas, LiDAR, degradação florestal.

1. Introdução

Os processos de degradação florestal e desmatamento são diferentes; o desmatamento envolve a conversão de florestas para outros tipos de cobertura do solo (Alencar et al., 2004), e a degradação envolve um processo de mudança que negativamente afeta as características da floresta, resultando no declínio do fornecimento de serviços ecossistêmicos e produtos (FAO, 2009).

Uma das consequências da degradação florestal é a fragmentação da floresta, que é entendida como sendo a divisão em partes de uma dada unidade do ambiente que passa a ter condições ambientais diferentes em seu entorno (MMA, 2003). A fragmentação florestal é resultado da redução da área de floresta, aumento de bordas, e a subdivisão de grandes áreas florestais em pequenos fragmentos florestais não contínuos (Broadbent et al., 2008).

Um dos resultados da fragmentação é a geração de bordas, que consiste no contato entre a área ocupada com agricultura ou zonas urbanas e os fragmentos de floresta (Rodrigues, 1993). Kapos (1989) apontou o efeito de borda como um dos fatores causadores de mudanças no microclima, redução da umidade e o aumento da variabilidade da temperatura próxima à

borda da floresta. Laurance et al. (1997) discutiram ainda que os efeitos dos ventos causam danos estruturais perto das extremidades da floresta e que outros processos ecológicos podem ser alterados pelo efeito de borda, como polinização, dispersão de sementes, ciclagem de nutrientes e armazenamento de carbono.

O LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia de Sensoriamento Remoto ativo que utiliza o princípio de medição de tempo de retorno do pulso para medir o alcance ou a distância de um objeto (White et al., 2013). Esta tecnologia possui vantagens como grande acurácia vertical e horizontal, processo de coleta de dados relativamente rápido e independente da luz solar. O uso de sensores que captam múltiplos retornos produz informações úteis sobre a estrutura da floresta (Hyypä et al., 2008). Alguns estudos empregaram técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas na quantificação da fragmentação e o potencial efeito de bordas (Broadbent et al., 2008). Contudo, nenhum deles utilizou a variável altura proveniente de dados LiDAR na caracterização quantitativa deste tipo de efeito.

Considerando que os dados LiDAR produzem informações de alta confiabilidade quanto a altura da floresta, esta variável é utilizada neste estudo a fim de caracterizar quantitativamente o efeito de borda no âmbito da paisagem em uma área de floresta degradada na região Amazônica, no município de Paragominas, Estado do Pará.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Paragominas, estado do Pará, sendo uma propriedade de posse privada, denominada Fazenda Nova Neonita. O município de Paragominas (3°S, 50°W) está localizado no leste da Amazônia Brasileira. A vegetação dominante nessa região é de floresta perene-folia úmida com solos predominantemente oxissolos e ultissolos e a precipitação média anual é de 2000mm (Veríssimo et al., 2002).

Paragominas foi um grande centro agrícola e madeireiro do país, com sua exploração iniciada nos anos 70 e expansão nos anos 80. Entre 1989-1990 estima-se que 67.845ha foram explorados com madeira destinada a abastecer as 238 serrarias que operavam na região. Paragominas já foi considerado o maior polo madeireiro do Brasil (Veríssimo et al., 1992).

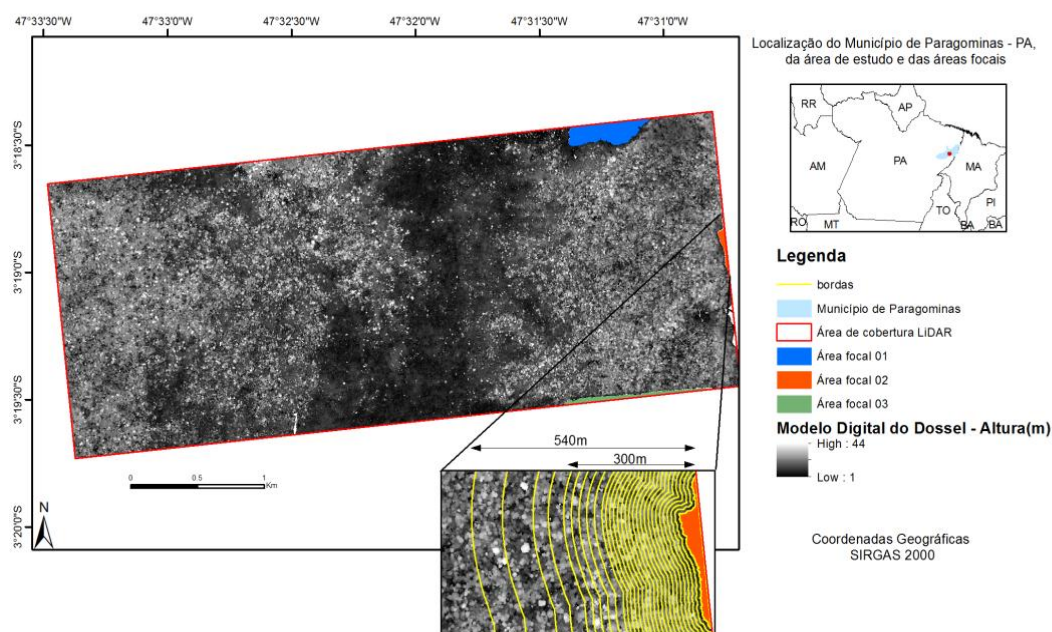


Figura 1. Modelo de Dossel da área de estudo, as áreas focais e exemplo das diferentes larguras de bordas estudadas.

2.2 Dados LiDAR

Os dados LiDAR utilizados neste estudo foram adquiridos através de um sistema a Laser aerotransportado Optech Orion no mês de Junho de 2014 em uma área total de 1000ha (Projeto Paisagens Sustentáveis, 2014). Os parâmetros do voo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do voo

Instrumento	Optec Orion
Data de aquisição	18/06/2014
Altitude máxima de voo	853 m
Campo de visada	11°
Frequência de pulso	100 KHz
Densidade mínima de retornos	4 ppm ²
Densidade média de retornos	40 ppm ²
Densidade média de primeiros retornos	17.7 ppm ²

ppm²: pontos por metro quadrado

A nuvem de pontos juntamente com o Modelo Digital de Terreno (MDT) dela derivado foram processados com o auxílio do *software* Fusion, versão 3.42 (McGaughey, 2014) a fim de obter a nuvem de pontos normalizada, processo no qual a influência da topografia é retirada.

2.3 Seleção das áreas focais

As áreas focais foram utilizadas como áreas núcleo a partir das quais foram estabelecidas as diferentes larguras de bordas e calculados os valores das métricas LiDAR.

A definição destas áreas foi feita considerando o modelo de dossel gerado a partir do processamento da nuvem de pontos LiDAR da área de estudo. Uma segmentação, utilizando o *software* eCognition Developer versão 8.7.0, foi aplicada ao modelo de dossel, utilizando 250 como parâmetro de escala, 0.1 como formato, e 0.5 como compacidade, resultados este que se mostrou o mais satisfatórios para o objetivo deste trabalho. O valor médio de altura da floresta obtido do modelo de dossel foi calculado e atribuído a cada segmento do arquivo vetorial resultante. Em seguida, os segmentos foram agrupados para criar 4 grandes classes de acordo com a altura da floresta: até 12 metros, de 12 a 18 metros, e maior que 18 metros, e uma quarta classe constituída pelas áreas desmatadas. Esta última classe representa as áreas focais deste estudo.

2.4 Delineamento do experimento

Três áreas focais foram delimitadas para o estudo de borda. As áreas 01 e 02 são cobertas por pastagem, já a área 03 tem como cobertura do solo um plantio florestal de eucalyptus. A Figura 1 mostra as áreas focais 01, 02 e 03, juntamente com a exemplificação das diferentes larguras de bordas estudadas.

O limite entre as áreas focais 01, 02 e 03 e a floresta foi considerado como a interface de contato desmatamento-floresta, a partir do qual foram estabelecidas as diferentes larguras de bordas.

O desenho amostral aqui descrito foi aplicado igualmente nas três áreas. Com a utilização da ferramenta *Copy Parallel* do *software* ArcMap, foram criadas, a partir da borda de cada área focal, 29 bordas de diferentes larguras (até 200 m, o intervalo foi de 10m; de 200 a 300, o intervalo foi de 20m; de 300 a 400, o intervalo foi de 40m; e após, o intervalo foi de 80m). Distâncias de borda em menores intervalos foram alocadas mais próximas ao limite das áreas focais refletindo o pressuposto de que as condições ambientais mudam mais rapidamente com distâncias imediatamente adjacente à borda da floresta (Didham e Lawton, 1999).

Em cada largura de borda foram alocadas aleatoriamente 37 amostras (número máximo de amostras que a menor largura de borda pode comportar) de 5x5m, totalizando 1073 amostras para cada área focal.

De acordo com Rodrigues (1993), é possível descrever como um fator varia em relação à distância da borda. Com o objetivo de refutar ou confirmar a existência de um efeito de borda através da análise da variável altura da floresta, os dados de cada largura de borda foram comparados com o interior. O interior foi definido como a área de encontro das últimas larguras de borda (540m) de cada área focal aqui apresentada. Na área considerada como interior também foram alocados 37 parcelas de 5x5m aleatoriamente distribuídas.

2.5 Geração de métricas

Com o uso do *software* Fusion (McGaughey, 2014), uma nova nuvem de pontos foi gerada para cada uma das 3256 parcelas (1073 parcelas por área focal mais 37 amostras do interior) a partir da nuvem de pontos normalizada da área total de estudo. Em seguida, métricas de elevação, intensidade e estatísticas por estratos de altura para estas amostras foram calculadas.

Métricas geradas a partir de dados LiDAR podem ser utilizadas para a extração de informações como altura, intensidade do retorno e cobertura, que servem como bons indicadores de atributos estruturais da floresta, tais como volume do povoamento, área basal e teor de carbono (Maltamo 2006; Næsset, 2004).

2.6 Análise dos dados

Através do teste de Shapiro-Wilk, foi comprovado que a maior parte dos dados analisados segue a distribuição normal. O teste *t* de Student foi aplicado entre os dados das métricas de cada largura de borda e o dado do interior, para testar se estes conjuntos de dados (borda x interior) eram estatisticamente diferentes com 99% de nível de confiança.

A Figura 2 resume o fluxograma do processamento dos dados.

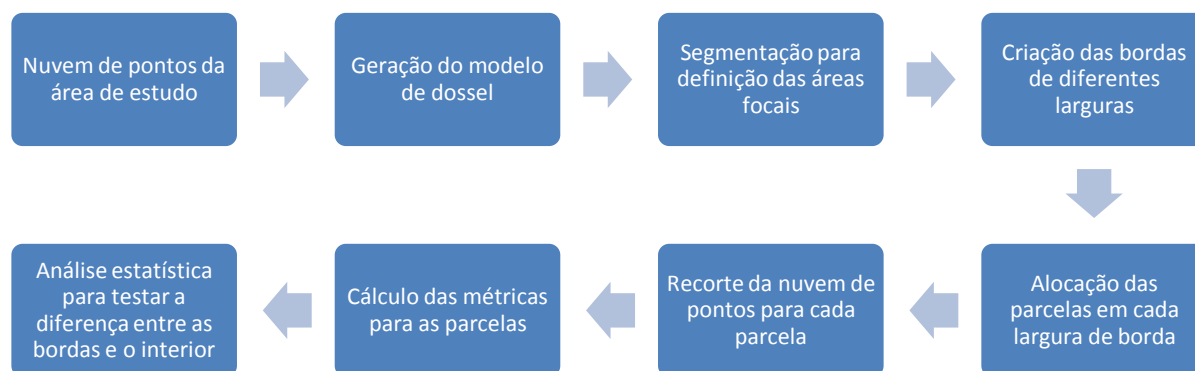


Figura 2. Fluxograma do processamento dos dados

3. Resultados e discussão

A Figura 3 mostra a média das alturas obtidas através da métrica 95º percentil para as 29 diferentes larguras de bordas. A tendência geral da altura média da floresta aumentar da borda para o interior também pode ser observada, principalmente nas proximidades da borda.

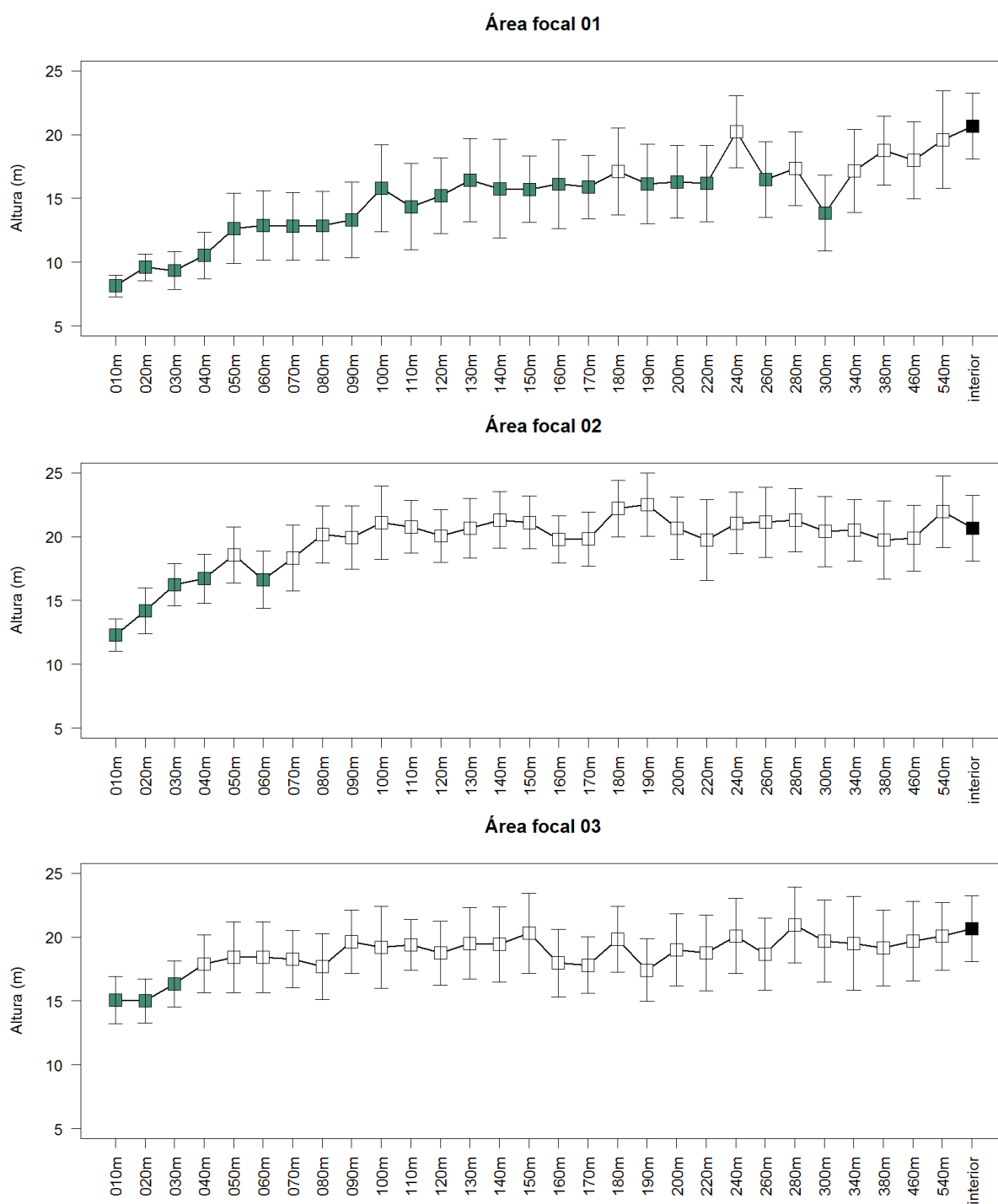


Figura 3. Média das alturas relativas à métrica 95º percentil para cada conjunto de amostras das diferentes larguras de borda com o erro padrão da média. O interior está representado pelos blocos pretos. Os blocos verdes representam as larguras de bordas que, quando comparadas com o interior se mostraram estatisticamente diferentes segundo o teste *t* de Student com intervalo de confiança de 99%.

Os resultados da área focal 01 mostraram que a estabilização dos resultados somente acontece a partir da largura de 340m, ou seja, que o efeito de borda na altura da floresta é perceptível até 340m. As bordas desta área focal sofreram sucessivos eventos de queimadas, que ocorreram nos anos de 2005 e 2008, baseado em uma análise com dados MODIS (Morton et al., 2011). Estes eventos de degradação podem alterar de forma heterogênea a estrutura da

floresta, limitando a definição de uma largura única para o efeito de borda baseada na altura da vegetação.

Analisando a área focal 02, seus resultados indicam que, a partir de 70m da borda, a altura da floresta é estatisticamente igual à floresta do interior. Diferentemente da área focal 01, a floresta nas bordas desta área apresenta uma variação menor de altura no modelo de dossel, sugerindo que a largura do efeito de borda nesta área é menos influenciada pela degradação. Na área focal 03 o efeito de borda pode ser percebido explicitamente até 30m.

O gráfico para a área focal 01 (Figura 3) mostra que a altura média das diferentes larguras aumenta gradativamente em direção ao interior, sem apresentar uma estabilização. Para as áreas focais 02 e 03, os dados também mostram um aumento da altura média da borda para o interior, porém este aumento mostra-se consideravelmente mais abrupto próximo à borda, tendendo a estabilização quanto mais próximo do interior.

Levando em consideração as áreas focais 02 e 03, que tem como borda florestas menos degradada, podemos concluir que o efeito de borda na altura da floresta é percebido de 30 a 70m da borda. Didham e Lawton (1999) em seu estudo sobre estrutura de bordas em fragmentos florestais na Amazônia através de dados de campo, concluíram que a borda se estendia até 20m. Unwin (1989), que estudou a estrutura e composição de bordas em florestas tropicais na Austrália observou que o efeito de borda variou de 20 a 500m ao analisar a altura da floresta.

São comuns os trabalhos de efeito de borda concentrarem-se em estudar outras variáveis tais como a densidade de plantas (Palik e Murphy, 1990), composição florística (Matlak, 1994), umidade e biomassa (Nascimento e Laurance, 2004) mas poucos trabalhos como o de Didham e Lawton (1999) e Unwin (1989) analisaram a altura da vegetação como variável para a caracterização do efeito de borda.

4. Conclusões

A diferença na estrutura da vegetação de cada borda avaliada é clara, o que dificulta a tarefa de delimitar uma largura de borda única para todas as áreas focais. Este limiar pode ser observado com maior clareza em áreas onde a floresta não sofre influência direta de bordas adjacentes.

O LiDAR se mostrou eficiente e sensível para detectar mudanças na altura da floresta nas diferentes larguras de borda, demonstrando ser uma ferramenta com grande potencial para ser utilizada em estudos que avaliam efeito de borda. Andersen et al. (2005) apontam que o efeito de borda pode levar a diferenças significativas entre estimativas geradas a partir de dados LiDAR e dados de campo, o que talvez possa explicar a dificuldade em encontrar trabalhos com resultados que confirmem os aqui apresentados.

Os resultados apresentados neste estudo tratam de uma área pequena e com poucas replicações. A proposta metodológica apresentada aqui é uma primeira aproximação, e acredita-se que há espaço para um avanço na maneira de explorar e avaliar este efeito com o uso de dados LiDAR. A replicação desta metodologia para áreas maiores e em diferentes regiões pode aprofundar o entendimento deste efeito e seu impacto nos estoques de biomassa nas florestas da região Amazônica.

Agradecimentos

Os dados LiDAR utilizados neste estudo foram adquiridos pelo Projeto Paisagens Sustentáveis Brasil, apoiado no Brasil pela Embrapa e pelo Serviço Florestal, Agência para o Desenvolvimento Internacional e Departamento de Estado dos Estados Unidos.

Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do projeto “Mudanças de uso da terra e suas interações com processos de degradação florestal na Amazônia”, apoiado pelo CNPq.

Referências Bibliográficas

Alencar, A., D. Nepstad, D. McGrath, P. Moutinho, P. Pacheco, M.C. Vera Diaz & B. Soares Filho. 2004. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia (IPAM), Belém, Brasil.

H.-E. Andersen, R.J. McGaughey, S.E. Reutebuch. Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data **Remote Sensing of Environment**, 94 (2005), pp. 441–449

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a diversidade e recomendações de políticas públicas**. Brasília: MMA/SBF, 2003. 510 p. (Série Biodiversidade, 6)

Broadbent EN, Asner GP, Keller M, Knapp DE, Oliveira PJC, et al. (2008) Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation** 141: 1745–1757.

Didham, R.K., Lawton, J.H., 1999. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. **Biotropica** 31, 17-30.

FAO. 2009. **Towards defining degradation**, by Markku Simula. FRA Working Paper 154. Rome.

J. Hyypä, H. Hyypä, D. Leckie, F. Gougeon, X. Yu, M. Maltamo. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests **International Journal of Remote Sensing**, 29 (5) (2008), pp. 1339–1366

McGaughey, R. J. **FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization**. Seattle, WA: USFS, 2014.175 p.

Kapos, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **J. Trop. Ecol.**, 5 (1989), pp. 173–185

Laurance, W.F. et al. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. **Science**, 278 (1997), pp. 1117–1118

Maltamo, M. *et al.* Estimation of stem volume using laser scanning-based canopy height metrics. **Forestry**, v. 79, n. 2, p. 217-229, 2006.

Matlack, G.R. 1993. Microenvironmental variation within and among forest edge sites in the eastern United States. **Biological Conservation** 66:185-194.

Morton, D. C.; DeFries, R.; Nagol, J.; Souza Jr, C.; Kasischke, E.; Hurtt, G.; Dubayah, R. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, n. 115, p. 1706-1720, 2011.

Nascimento, H., Laurance, W.F. Biomass dynamics in Amazonian forest fragments **Ecol. Appl.**, 14 (2004), pp. S127–S138

Næsset, E. Practical large-scale forest stand inventory using a small footprint airborne scanning laser. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 19, n. 2, p. 164–179, 2004

Palik, B. J., Murphy, P.G. 1990 Disturbance versus edge effects in sugar-maple/beechn forest fragments. **Forest Ecology & Management** 32: 187-202

Projeto Paisagens Sustentáveis Brasil. Disponível em: <<http://mapas.cnpm.embrapa.br/paisagens sustentaveis/>>. Acesso em: 15.Set. 2014.

Rodrigues, E. **Ecologia de fragmentos florestais ao longo de um gradiente de urbanização em Londrina-PR**. 1993. 110f. Tese (Mestrado) - Universidade de São Carlos, São Paulo.

Unwin, G.L., 1989. Structure and composition of the abrupt rainforest boundary in the Herberton Highland, North Queensland. **Australian Journal of Botany** 37, 413-428.

Veríssimo, A., Barreto, P., Mattos, M., Tarifa, r., Uhl, c. 'Logging Impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas', **Forest Ecology and Management**, 55:169-199, 1992.

Veríssimo, A., Barros, A. C., Souza Jr., C., Uhl, C., Vidal, E., Vieira, I. C. G., Mattos, M. M., et al. (2002). **A Expansão Madeireira na Amazônia: Impactos e Perspectivas para o Desenvolvimento Sustentável no Pará**. (A. C. Barros & A. Veríssimo, Eds.) (2ª ed., p. 166). Belém: Imazon.

White, J.C., Wulder, M.A., Varhola, A., Vastaranta, M., Coops, N.C., Cook, B.D., Pitt, D, Woods, M. 2013. **A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using the area-based approach**. Information Report FI-X-10. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Canadian Wood Fibre Centre, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. 50 p.