

Análise multitemporal de dados LiDAR na caracterização da floresta secundária na região da FLONA Tapajós

Luciana Spinelli-Araujo ¹
Maiza Nara dos Santos ¹
Ekena Rangel Pinagé ¹
Michael Keller ^{1,2}
Marcos Longo ¹

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

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. Understanding secondary forests dynamics is essential due to its importance of carbon stocks in tropical forests. We analyzed airborne LiDAR metrics to characterize the structure and change in structure of secondary forest in the Tapajós National Forest region between 2012 and 2013. We applied a segmentation and classification algorithm to the LiDAR data, and defined four successional stages of interest, with heights of 2-6m, 6-10m, 10-30m and >30m. We then compared the dynamics of the vertical forest structure among these four stages, by evaluating variations in height and density of returns in different vegetation strata. We found that polygons in the earlier successional stages experienced increases in return proportion in the upper canopy and loss at the understory, whereas polygons at the latest stage presented the opposite behavior. These results were consistent with the expected trajectory of dynamic secondary forests, thus demonstrating the potential of these LiDAR data.

Palavras-chave: forest dynamics, successional stage, Amazonia, dinâmica florestal, estágio sucessional, Amazônia.

1. Introdução

A dinâmica do uso da terra é um dos principais temas envolvendo estudos em florestas tropicais, considerando que contribui para o aumento de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, acarretando importantes variações climáticas. As florestas secundárias - vegetação que cresce após o corte total de uma área, tem destacado papel nesse fluxo, contudo estimativas de absorção e estoque de carbono nessas florestas variam bastante (Fearnside, 2013); estudos apontam que apesar das reduções significativas no carbono armazenado nas florestas degradadas, sob efeito de exploração madeireira e queimada, estas ainda armazenam mais carbono do que as florestas secundárias (Berenguer et al., 2014). As florestas secundárias estão também inseridas nas discussões de manutenção de serviços ecossistêmicos (Vieira et al, 2014).

O reconhecimento da heterogeneidade da cobertura florestal é um elemento fundamental para a obtenção de estimativas de carbono de acordo com as características estruturais da vegetação (Pereira, 2013). O processo sucessional de florestas secundárias segue uma progressão de estágios que apresentam um enriquecimento gradual de espécies e um aumento em complexidade estrutural e funcional (Chazdon, 2012). A taxa de crescimento dessas florestas pode ser lenta devido ao fato da maioria das áreas desmatadas ser de pastagens degradadas com solo compactado e esgotado de nutrientes (Davidson et al., 2007).

Salomão et al. (2012) sintetizam a classificação de três estágios sucessionais para comunidades arbóreas com estruturas distintas, ressaltando que o uso de descritores florístico-estruturais pode contribuir para a aplicação de um sistema de classificação da vegetação secundária. De acordo com esses autores, o estágio inicial de sucessão (capoeirinha), que iria até 5 anos, teria em torno de 6m de altura, o estágio intermediário (capoeira), entre 10 e 20 anos, teria altura média de 8m e o estágio avançado (capoeirão), depois dos 20 anos do processo de sucessão, teria alturas superiores a 10m, já com área basal e biomassa semelhantes aos de florestas maduras. O gradiente dos estágios de sucessão também reflete em outras alterações estruturais, como a estratificação da floresta e a densidade de sub-bosque, e a forma de quantificar esses processos sucessionais seria monitorar as alterações em estrutura, composição e função da floresta ao longo do tempo (Chazdon, 2012).

O mosaico de paisagens existente na região da Floresta Nacional (Flona) do Tapajós tem atraído várias pesquisas sobre a dinâmica da vegetação (IBAMA, 2004), sendo essa a unidade de conservação federal na categoria de floresta nacional que mais abriga pesquisa científica no país (ICMBIO, 2014). A Flona do Tapajós é uma unidade de conservação da categoria de uso sustentável, o que permite o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, tendo a cobertura florestal de espécies predominantemente nativas (ICMBIO, 2014). Já seu entorno é caracterizado por um mosaico de usos e coberturas, formado principalmente por atividades agropecuárias e fragmentos de vegetação. Nessas áreas são comuns os desflorestamentos que se iniciam, geralmente, pelo corte seletivo de madeira ou incêndios florestais e, posteriormente, a conversão total da floresta em pasto e/ou agricultura (Shimabukuro et al., 1998). Ao abandono dessas áreas se segue o estabelecimento da vegetação, observados em diferentes estágios de sucessão, que apresentam alterações na estrutura e diversidade florística (Santos et al., 2003).

A dinâmica de florestas tropicais, incluindo os diversos estágios de sucessão, vem sendo monitoradas com emprego de técnicas de sensoriamento remoto, especialmente imagens multitemporais da série Landsat. Na região da Flona Tapajós, trabalhos como de Espírito-Santo (2003) identificaram e caracterizaram diferentes estágios sucessionais, contudo, ainda é limitante a distinção de alterações na estrutura abaixo do dossel florestal. Nos últimos anos, o emprego de dados *Laser Detection and Ranging* (LiDAR) vem sendo uma das principais técnicas para estudos da vegetação, incluindo estudos de dinâmica de curto prazo da floresta tropical (Dubayah et al., 2010). Castillo et al. (2012) demonstraram que mudanças na estrutura vertical de floresta seca associados com os principais estágios sucessionais podem ser identificados com dados LiDAR. Martinuzzi et al. (2012), também trabalhando em floresta tropical seca, empregaram métricas que descrevem a estrutura vertical da vegetação para identificar os estágios da floresta. Em floresta úmida, Jung et al. (2013) sugerem novas métricas baseadas em quantificações de clareiras verticais para análise de áreas abertas sob o dossel florestal.

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar produtos derivados de dados LiDAR para quantificação de mudanças na estrutura em floresta secundária na região da Flona do Tapajós entre 2012 e 2013.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A Flona do Tapajós está localizada no Estado do Pará, ao longo da rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), entre paralelos 2°45' e 4°10' S e os meridianos 54°45' e 55°30' W. Com área aproximada de 5 mil km², possui a cobertura florestal bastante preservada (ICMBIO, 2014).

A área de estudo, localizada na parte leste da Flona, era parte integrante dessa unidade de conservação até sua exclusão pela Lei 12.678 de 2012 (BRASIL, 2012). De acordo com as tipologias do Plano de Manejo da Flona (IBAMA, 2004), esta área foi identificada como de vegetação alterada, com floresta secundária e desmatamento, estando inserida em uma área de floresta densa. Em mapeamento de 2000, Espírito-Santo (2003) identificou nesta área 3 níveis de sucessão da vegetação e florestas alteradas pelo fogo. Tal diversidade de usos do solo pode ser observada em imagens *RapidEye* de 2012 da área de estudo (Figura 1).

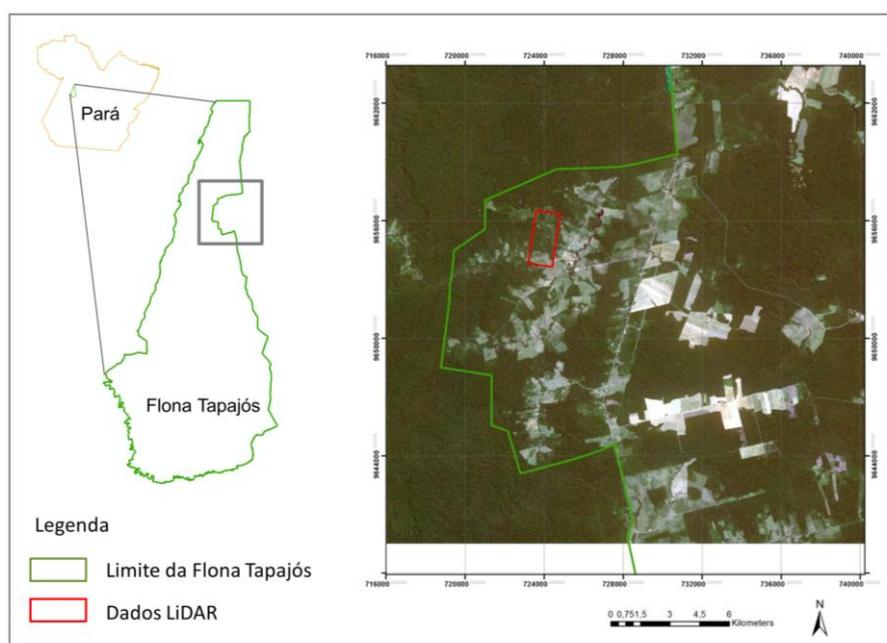


Figura 1. A área de estudo (em vermelho) em imagem *RapidEye** de agosto de 2012 (composição R3G2B1), localizada a leste da Flona do Tapajós, no estado do Pará.

* Inclui material © RapidEye AG de 2012. Todos os direitos reservados.

2.2 Metodologia

Os dados LiDAR foram adquiridos em setembro de 2012 e entre julho e setembro de 2013 (<http://mapas.cnpm.embrapa.br/paisagens sustentaveis/>), com densidade mínima de pontos de 4 retornos/m². A área analisada de cada ano totaliza 340 ha, com os dados LiDAR disponibilizados na forma de nuvem de pontos, incluindo 8 arquivos no formato *las* e o modelo digital do terreno, este último utilizado para remover a influência da topografia sobre os pontos.

Os dados foram processados no *software Fusion* (McGaughey, 2014), gerando métricas com resolução de 1m referentes à cobertura, elevação e intensidade da área analisada para as 2 datas. Considerando-se que um dos parâmetros empregados para caracterização de estágios sucessionais da floresta é a altura da vegetação, o produto do dado de 2012 referente à métrica *Elevation_P95* (quantil de 95% da distribuição de altura de pontos de retorno) foi selecionado para a estratificação inicial de segmentos, a partir de análise orientada a objeto no *software eCognition Developer*. Nessa abordagem a imagem é analisada a 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.

Na etapa de segmentação foram empregados os parâmetros de escala 25, forma 0,1 e compactação 0,5. Para a classificação, inicialmente os segmentos com área menor que 1 ha e com alturas menores que 2 m foram excluídos, neste último caso para evitar a inclusão de áreas com vegetação sem o componente arbóreo, como pasto sujo ou vegetação agrícola. Para a análise inicial da imagem, seguindo a estratificação citada em Salomão et al. (2012), foram definidas as 4 classes temáticas de interesse: estágio 1 (2-6m), estágio 2 (6-10m), estágio 3 (10-30m) e estágio 4 (>30m). A classificação foi então gerada com o atributo média dos objetos na imagem LiDAR, considerando a hierarquia de classes de floresta com os 4 estágios. A classificação resultante foi exportada em formato vetor e no *software ArcGIS* foram extraídos os valores das métricas do *Fusion* para os segmentos de cada estágio em ambas as datas de aquisição de dados LiDAR. Nas análises dos estágios, foram empregadas as métricas referentes a alturas e estratos, que são variáveis comumente empregadas em caracterização de florestas secundárias (Chazdon, 2012; Salomão et al.,2012).

3. Resultados e Discussão

A segmentação e classificação do produto *Elevation_P95* de 2012 resultou em 91 segmentos, com os resultados apresentados na Figura 2 e Tabela 1.

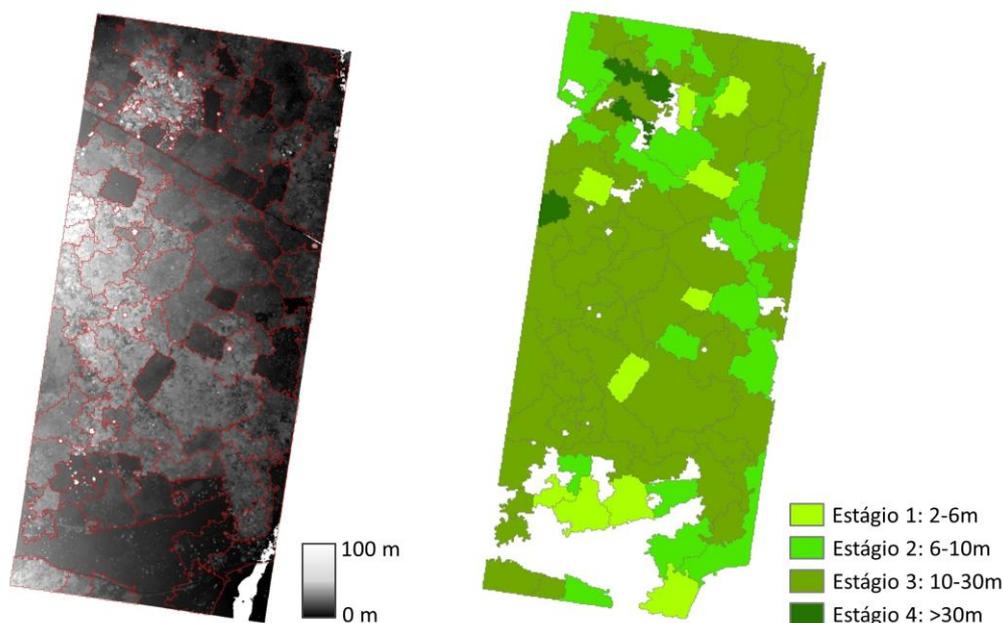


Figura 2. Produto *Elevation_P95* de 2012 segmentado e classificação da floresta secundária em 4 estágios, considerando intervalos de altura.

Tabela 1. Número de segmentos, área e média e desvio-padrão de alturas dos 4 estágios em 2012.

	Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4
Número de segmentos	10	20	58	3
Área	26,2 ha	63,5 ha	198,9 ha	6,1 ha
<i>Elevation_P95</i> de 2012*	4,08±132m	8,19±1,11m	16,17±4,52m	34,92±4,16m

* diferença significativa entre as médias dos estágios (teste t; $p < 0,005$).

A análise estatística demonstrou diferença significativa entre as médias dos estágios, indicando a adequação da classificação em 4 grupos. A partir dessa estratificação dos estágios, os segmentos foram analisados em relação à dinâmica da estrutura da floresta no período entre 2012 e 2013. A Tabela 2 apresenta a dinâmica de altura (diferença entre a

métrica *Elevation_P95* de 2012 e 2013) e os valores de ganho em altura dos 4 estágios. A coluna 'dinâmica de altura' considera também os segmentos que tiveram decréscimo da altura, possivelmente pela queda de indivíduos arbóreos altos. Esse decréscimo foi observado principalmente no estágio 1 (30% dos segmentos com decréscimo de altura), e menos no estágio 2 (10% dos segmentos); no estágio 4, um dos segmentos apresentou diferença de 2m de altura entre as datas, acarretando em média negativa. A coluna 'ganho em altura' desconsidera os segmentos com decréscimos de altura, representando apenas o crescimento em altura dos estágios nesse período entre 2012 e 2013. A análise estatística dos dados demonstrou que não houve diferença significativa de crescimento para os estágios nesse período, sugerindo a necessidade de um período maior entre as datas para verificar a dinâmica em altura da vegetação. A Figura 3 apresenta um gráfico com dados de altura por grupo para os 2 anos de análise e a Figura 4 ilustra a dinâmica de uma área do estágio 4 com as alterações identificadas entre os produtos *Elevation_P95* de 2012 e de 2013.

Tabela 2. Média e desvio-padrão da dinâmica e ganho de alturas dos 4 estágios no período entre 2012 e 2013.

Estágio	Dinâmica de altura*	Ganho em altura*
1	0,48±2,5m	1,95±0,8m
2	0,58±1,4m	0,97±0,3m
3	0,45±1,1m	0,76±0,3m
4	-0,45±1,4m	0,36±0,3m

* sem diferença significativa entre as médias dos estágios e entre as datas de análise (teste t; $p < 0,005$).

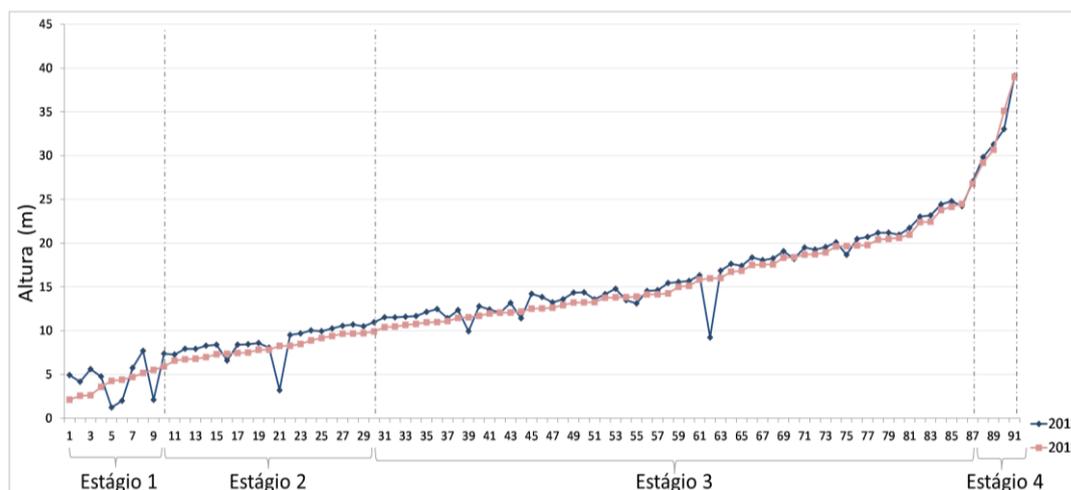


Figura 3. Altura média dos segmentos dos 4 estágios para os 2 anos de análise.

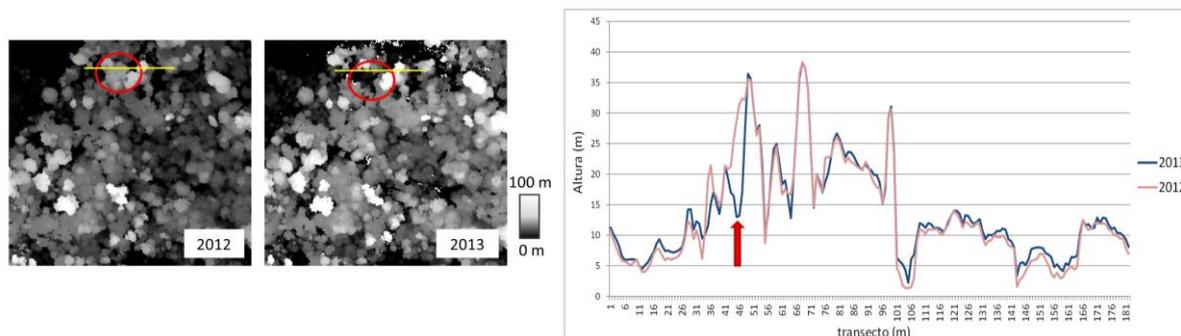


Figura 4. Dinâmica do dossel de uma área representativa do estágio 4; o círculo vermelho ressalta a queda de árvores entre 2012 e 2013, também representada no gráfico de alturas referente ao transecto amarelo.

Para os estratos, considerando a estrutura e as características de regeneração na vegetação secundária, foram definidos para análise os intervalos de 0-1,5m, 1,5-3m, 3-6m, 6-10m, 10-15m e 15-30m. Para cada estágio e ano de análise foram calculados os valores médios de proporção de retornos da vegetação nos diferentes intervalos dos estratos, como demonstrado na Figura 5; os valores mais altos de proporção de retornos indicam estratos mais densos. Nessa Figura é possível observar o gradiente de crescimento da floresta considerando os 4 estágios de interesse; no estágio 1, grande parte dos retornos se concentra no estrato de 0-1,5m, no estágio 2 a distribuição mostra-se mais equilibrada entre os 4 primeiros estratos (englobando de 0-10m), no estágio 3 esse equilíbrio entre os retornos se evidencia nos estratos que incluem de 6-30m, e no estágio 4 os retornos se concentram no estrato de 15-30m. Essa dinâmica também fica evidente com a análise dos estágios entre 2012 e 2013; nesse período, nos estágios 1, 2 e 3 ocorre uma diminuição da proporção de retornos dos estratos mais baixos, com aumento nos estratos superiores, enquanto no estágio 4, a diminuição é observada nos estratos superiores, com aumento nos estratos inferiores. No caso do estágio 4, juntamente com os dados de decréscimo de altura observados (Figura 4), pode-se supor uma perda de árvores do estrato superior com uma possível abertura de clareiras induzindo a formação de um sub-bosque mais denso que o ano anterior, ressaltando que foram empregadas apenas 3 amostras para este estágio.

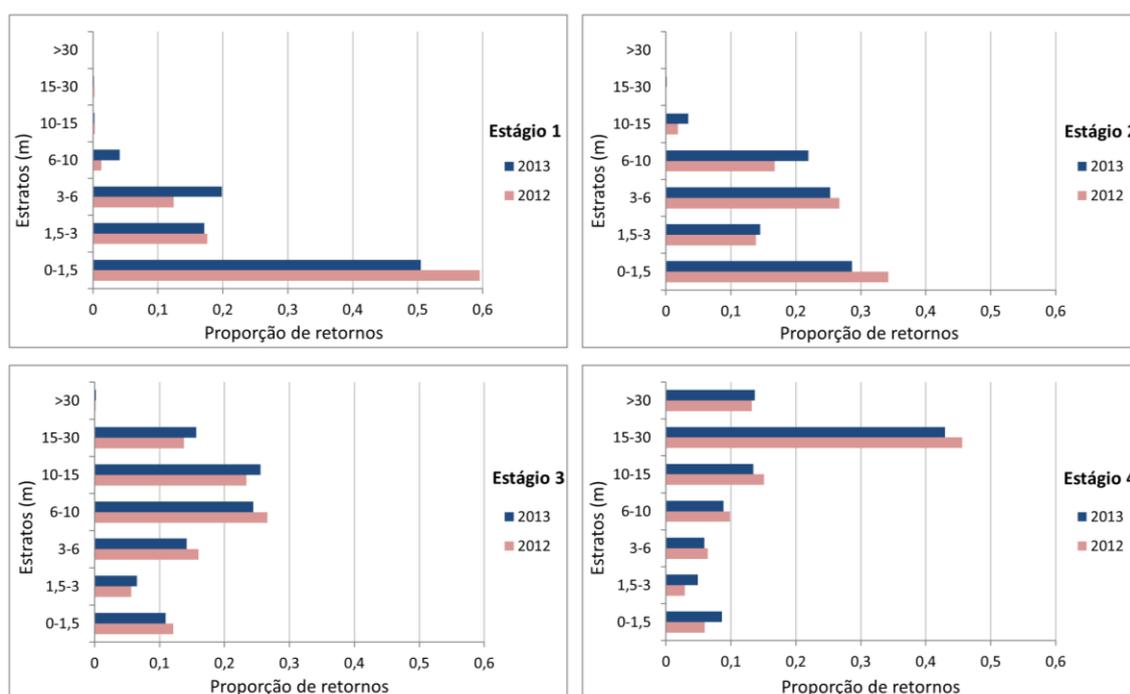


Figura 5. Média de proporção de retornos por estrato para as datas de 2012 e 2013, considerando os 4 estágios de interesse: estágio 1 (altura de 2-6m), estágio 2 (6-10m), estágio 3 (10-30m) e estágio 4 (>30m).

Os dados apresentados ilustram a dinâmica da floresta secundária, em que gramíneas, herbáceas, lianas e arbustos dominam campos recentemente abandonados, mas declinam em abundância à medida que o dossel da floresta se fecha e reduz a disponibilidade de luz (Chazdon, 2008). Sequencialmente, árvores pioneiras colonizam e se estabelecem, e espécies lenhosas umbrófilas começam a se firmar como mudas; o fechamento do dossel marca o estágio da exclusão das espécies de árvores, lianas e arbustos intolerantes à sombra, que são suprimidas e morrem, enquanto que espécies umbrófilas recrutam no sub-bosque e no dossel e continuam a se estabelecer como mudas (Chazdon, 2012). Essa dinâmica florestal não cessa quando uma floresta atinge um estágio tardio de sucessão, ocorrendo frequentes distúrbios,

como quedas de árvores (Chazdon, 2008; 2012), conforme observado para o estágio 4. Dubayah et al. (2010), em estudo com métricas de LIDAR para verificar a dinâmica de florestas tropicais no período de 7 anos, observaram um ganho de altura de 2,08m em florestas secundárias, enquanto as florestas com crescimento mais avançado apresentaram perda de -0,33m.

Salomão et al. (2012), empregando dados de campo, identificaram uma série de descritores estruturais para descrever os estágios de floresta secundária, entre eles a altura da vegetação, citando também diversos trabalhos que empregaram idades da floresta para essas descrições. Em fevereiro de 2014, o estado do Pará estabeleceu os critérios para definir os estágios sucessionais da floresta secundária, considerando, entre eles, a idade da vegetação (Vieira et al, 2014). Para Martinuzzi et al. (2013), as melhores métricas de LiDAR para separar os estágios intermediário, avançado e floresta primária foram aquelas referentes à estrutura vertical, como estrato e altura da vegetação, também empregados neste presente trabalho na região da Flona do Tapajós.

O entendimento da alteração estrutural da vegetação com o tempo pode contribuir em análises da dinâmica da floresta secundária, e os dados LiDAR aqui analisados demonstraram potencial nesse tema. Deve-se ressaltar, contudo, que variações na estrutura das florestas podem ter causas relacionadas à fenologia da vegetação e às condições climáticas locais, devendo ser consideradas repetições de observações para estudos de dinâmica, conforme citado por Castillo et al. (2012).

4. Conclusões

A estrutura e dinâmica de florestas secundárias vêm sendo tema de diversos estudos e a tecnologia LiDAR mostra-se bastante adequada para este tipo de avaliação, incluindo análises da dinâmica da biomassa e da contribuição dessas florestas no estoque de carbono. Nesse estudo, a metodologia apresentada mostrou-se adequada, visto que a estratificação dos estágios de floresta considerando intervalos de altura possibilitou a descrição desses estágios em relação à dinâmica da estrutura vertical da vegetação em um curto intervalo entre a coleta de dados, de forma condizente com outros estudos de florestas secundárias.

Deve-se ressaltar o caráter exploratório do trabalho, visando avaliar o potencial desses dados LiDAR em caracterizações da floresta secundária com base em análises descritivas da dinâmica dos diferentes estágios de sucessão. Como próximas etapas, serão inseridas informações sobre o histórico da área a partir de análise de dados Landsat, considerando que as trajetórias sucessionais e alterações na estrutura da vegetação sofrem ampla variação conforme a o uso anterior do solo. Também serão incluídos dados de inventário florestal da área de estudo para comparação da estrutura de fragmentos de floresta secundária observada nesse trabalho com as informações coletadas em campo.

Agradecimentos

Os dados LiDAR utilizados neste trabalho 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

Berenguer, E.; Ferreira, J.; Gardner, T.A.; Aragão, L.E.O.C.; Camargo, P.B.; Cerri, C.E.; Durigan, M.; Oliveira, R.C.; Vieira, I.C.; Barlow, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Glob. Change Biol.** p.1365-2486, 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.678, de 25 de junho de 2012.** Dispõe sobre alterações nos limites dos Parques Nacionais da Amazônia, dos Campos Amazônicos e Matinguari, das Florestas Nacionais de Itaituba I, Itaituba II e do Crepori e da Área de Proteção Ambiental do Tapajós; altera a Lei no 12.249, de 11 de junho de 2010; e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12678.htm>. Acesso em: 10 out. 2014.

Castillo, M.; Rivard, B.; Sánchez-Azofeifa, A.; Calvo-Alvarado, J.; Dubayah, R. LIDAR remote sensing for secondary Tropical Dry Forest identification, **Remote Sensing of Environment**, v. 121, p. 132-143, 2012.

Chazdon, R. L.. Chance and determinism in tropical forest succession. In: Carson, W.; Schnitzer, S. A. (Eds.): **Tropical forest community ecology**. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, 2008. p. 384-408.

Chazdon, R. L. Regeneração de florestas tropicais. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, 7(3), p. 195-218, 2012.

Davidson, E.A.; Carvalho, C.J.R.; Figueira, A.M. et al. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. **Nature**, 447, p.995–998, 2007.

Dubayah, R. O.; Sheldon, S. L.; Clark, D. B.; Hofton, M. A.; Blair, J. B.; Hurtt, G. C.; Chazdon, R. L. Estimation of tropical forest height and biomass dynamics using lidar remote sensing at La Selva, Costa Rica. **J. Geophys. Res.**, 115, 17p, 2010.

Espírito-Santo, F. D. B. **Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e de inventários florestais**. 2003. 277p. (INPE-10133-TDI/898). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Fearnside, P.M. Serviços ambientais provenientes de florestas intactas, degradadas e secundárias na Amazônia brasileira. In: Peres, C.A.; Gardner, T.A.; Barlow, J.; Vieira, I.C.G. (eds.). **Conservação da Biodiversidade em Paisagens Antropizadas do Brasil**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 2013. p. 26-57.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). 2004. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo**. IBAMA, Belterra, Pará. 373pp

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **A Floresta Nacional do Tapajós**. Disponível em: < <http://www.icmbio.gov.br/flonatapajos/>>. Acesso em 15 out. 2014.

Jung, J.; Pekin, B.K.; Pijanowski, B.C. Mapping open space in an old-growth, secondary-growth, andselectively-logged tropical rainforest using discrete return LiDAR. **IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.**, vol. 6, n. 6, p. 2453 -2461, 2013.

Martinuzzi, S.; Gould, W. A.; Vierling, L. A.; Hudak, A. T.; Nelson, R. F.; Evans, J. S. Quantifying Tropical Dry Forest Type and Succession: Substantial Improvement with LiDAR. **Biotropica**, v. 45, n.2, p. 135–146, 2012.

McGaughey, R. J.. **FUSION/LDV: Software for LIDAR data analysis and visualization**. FUSION version 3.42. United States Department of Agriculture, Forest Service. 2014.

Pereira, I. C. N. **Estoque de biomassa e carbono florestal em unidades de paisagem na Amazônia: uma análise a partir da abordagem metodológica ecologia da paisagem**. 2013. 177 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém. 2013. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Tropicó Úmido.

Salomão, R. P.; Vieira, I. C. G.; Brienza Júnior, S.; Amaral, D. D.; Santana, A. C. Sistema Capoeira Classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, 7(3), p. 297-317, 2012.

Santos, J. R.; Araujo, L. S.; Dutra, L. V.; Freitas, C. C.; Soler, L. S. Parametrização da biomassa em área de floresta tropical a partir de dados SAR aerotransportado de banda P. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2273 - 2279. CD-ROM. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16170-PRE/10773). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.16.19.03>>. Acesso em: 27 out. 2014.

Shimabukuro, Y.E.; Amaral, S.; Ahern, F.J.; Pietsch, R.W. Land cover classification from RADARSAT data of the Tapajós National Forest, Brazil. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 24(4), p.393-401, 1998.

Vieira, I.C.G.; Gardner, T.; Ferreira, J.; Lees, A.C.; Barlow, J. Challenges of Governing Second-Growth Forests: A Case Study from the Brazilian Amazonian State of Pará. **Forests**. 5(7), p.1737-1752, 2014.