

Índice texturais das áreas de exploração florestal na FLONA do Tapajós (Pará), utilizando imagens de média resolução espacial fusionadas.

Marília Gabriela Lopes da Silva ¹
Tássio Franco Cordeiro ¹
Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira ¹
Igor da Silva Narvaes ¹
Alessandra Rodrigues Gomes ¹
Marcos Adami ¹
Lucas José Mazzei de Freitas ³
Dalton de Morriison Valeriano ²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro Regional da Amazônia – INPE/CRA
Caixa Postal 2651 - 66077-830 - Belém - PA, Brasil
{rodrigo.oliveira, marilia.lopes, igor.narvaes, tassio.cordeiro, alessandra.gomes,
marcos.adami}@inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 1758 - 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
dalton@dsr.inpe.br

³ Embrapa Amazônia Oriental
Caixa Postal 48 - 66095-100 – Belém - PA, Brasil
lucas.mazzei@embrapa.br

Abstract. The Amazon Biome has a wide variety of ecosystems, such as: flooded forests, dry land, igapós, open fields, floodplains and cerrado. And for forest studies what has been used in the scientific field are several methods of satellites images classification based on textural characteristics. The texture characteristics are an important source of information for the analysis and interpretation process of products that are generated by optical sensors. In this work we show results obtained through the application of the mapping methodology developed by DETEX (Detection of Selective Logging) and the textural measures using a co-occurrence matrix, in the study area of FNT (Tapajós National Forest) in Pará, having as a temporal cut the years of 2014, before the forest exploitation and 2015, the year post logging. The results obtained from the fused images of the Landsat 8 satellite (Sensor OLI) demonstrated a relation between some textural variables obtained by the Haralick texture and the forest exploitation degree applied, measured by the remaining basal area ($G - m^2/ha$). Based on the results, it was possible to establish that before the logging the trees from the dominant extract were important in the detection result, whereas when some individuals (2015) were extracted, the dominant trees were fundamental for the verification of low impact logging activity in the forest.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, texture, sensoriamento remoto, processamento de imagens, textura.

1. Introdução

A Amazônia Legal se constitui enquanto uma área de fronteira, onde os processos de ocupação e a dinâmica de uso da terra ocorrem de forma dinâmica, é a maior área de floresta tropical úmida contínua em termos de biodiversidade e cobertura vegetal (FAO, 2005). Assim, a incorporação de áreas florestadas ao sistema produtivo na Amazônia é um processo recorrente e histórico (LOMBARDO & VENTURIERI, 2004). Neste contexto, a exploração ilegal de madeira é uma das maiores causas da degradação florestal na Amazônia, apesar dos esforços na fiscalização por parte dos órgãos ambientais, se faz necessário o estabelecimento de diretrizes para o uso sustentável da floresta, já que a mesma possui um potencial madeireiro estimado em 60 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, com valor econômico potencial de quatro trilhões de reais (CASTRO, 2012).

O Corte Seletivo de madeira se constitui na retirada de indivíduos arbóreos com alto valor comercial (SABOGAL et al., 2009). Luz et al. (2013) definiram parâmetros para distinguir as formas de exploração seletiva de madeira ocorrentes na Amazônia. Com isso, estabeleceram dois padrões distintos, sendo: o Corte Seletivo Regular (CSR), caracterizado por formas geométricas regulares, onde estas feições distinguíveis na imagem são formadas por clareiras (pátios para estocagem de madeira), com simetria uniforme e quase que equidistantes, ao longo de estradas secundárias na floresta e, Corte Seletivo Convencional (CSC), caracterizado por não apresentar uniformidade geométrica da infraestrutura de exploração, possuindo clareiras maiores, na grande maioria dos casos consideradas ações mais impactantes para a floresta.

Os satélites de sensores de média resolução espacial, em especial da série Landsat, possuem relevância em mapeamentos de áreas com atividade de exploração florestal, principalmente devido à gratuidade na distribuição de suas cenas de ambientes tropicais como Amazônia, cujas características permitem uma melhor caracterização da dinâmica de transição da paisagem. Em particular, no monitoramento de áreas de exploração florestal na Amazônia, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos para o seu mapeamento e verificação da intensidade de exploração (Asner et al., 2005; Peres et al., 2006; Grogan et al., 2008; Matricardi et al., 2010). O INPE realiza o mapeamento e o monitoramento da exploração florestal, quantificando e qualificando estas atividades por meio da metodologia do programa de Detecção da Exploração Seletiva de Madeira (DETEX).

Assim, para se entender o processo de exploração seletiva em um ambiente controlado, com plano de manejo licenciado, principalmente em áreas com grande extensão territorial como em alguns trechos concedidos na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, assumem papel estratégico na sua avaliação.

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia de extração de valores estruturais da floresta, a partir de dados texturais baseados em técnicas de processamento digital de imagens e análises estatísticas para sua qualificação. É importante ressaltar que, este trabalho tem como área de estudo parcelas experimentais da Empresa de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental – Embrapa Amazônia Oriental, localizadas na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA do Tapajós), visando auxiliar na produção técnico-científicas para elaboração de ações de uso sustentável, proteção ao meio ambiente, desenvolvimento econômico e social na Floresta Nacional do Tapajós.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A Floresta Nacional do Tapajós (FNT) está localizada no estado do Pará entre os paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude sul e entre os meridianos de 54°45" e 55° 30' de longitude oeste. Constitui-se em uma Unidade de Conservação tendo sido criada por meio do Decreto 73.684 de 19 de fevereiro de 1974, estando situada na região do Baixo Amazonas, no oeste do estado. A unidade possui os seguintes limites: a oeste, Rio Tapajós; a leste, a Rodovia BR-163; ao norte, a linha seca que passa pelo marco 50 da Rodovia BR-163; ao sul, o rio Cupari. Possui área de aproximadamente 544 mil hectares é abrangida pelos municípios de Santarém, Belterra, Aveiro, Placas e Rurópolis. A Figura 1 mostra a localização das parcelas da área de estudo, localizada as margens da BR-163 no Km 67 no interior da FNT.

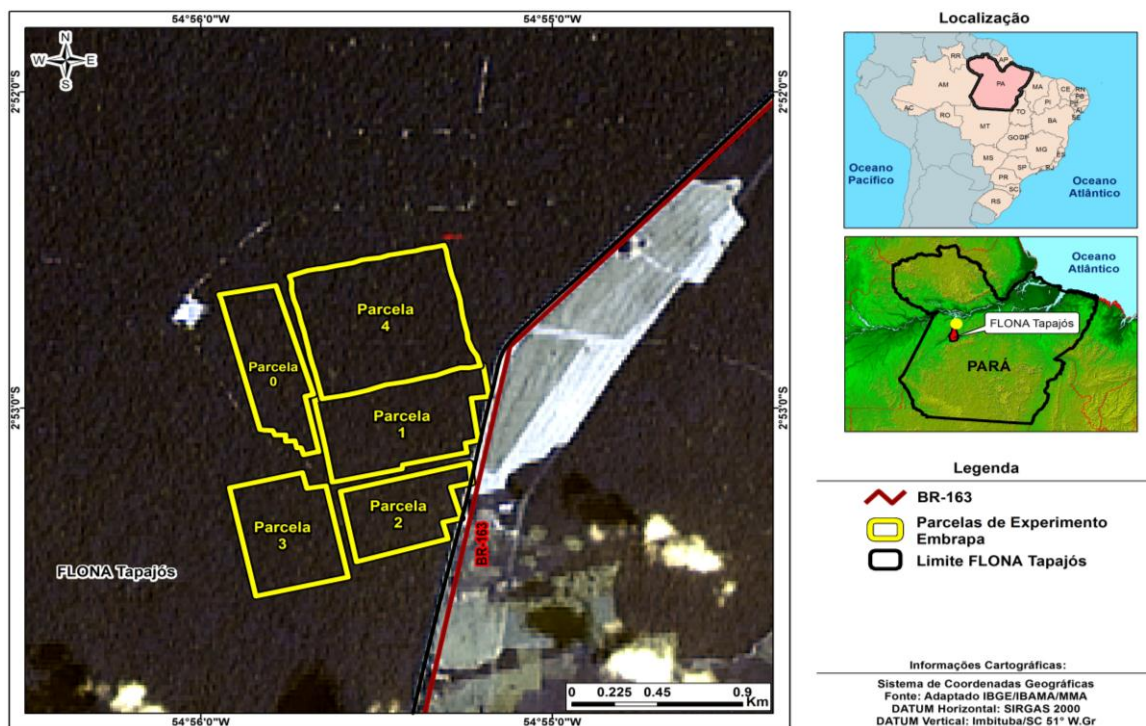


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, ao fundo a imagem do satélite Landsat 8 sensor OLI fusionada para 15 metros de resolução espacial.

Esta Unidade de Conservação apresenta tipologia vegetal de floresta ombrófila densa, proposta por Veloso (1991), com vegetação caracterizada pela dominância de árvores grandes de porte sob regime climático de elevadas temperaturas e precipitações intensas distribuídas ao longo do ano e é incluída na categoria de Unidade de Uso Sustentável.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Processamentos dos dados

Iniciou-se o trabalho a partir da aquisição de imagens georreferenciadas e transformadas para reflectância no topo da atmosfera, disponibilizada no catálogo do serviço geológico americano (USGS), disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Após, foi realizado a fusão das bandas multiespectrais 6,5,4 com banda 8 pancromática, no software ENVI 4.7 EXELISVIS (2016), pelo método Pan-sharpening, com o objetivo de melhorar a resolução espacial das cenas de 30 m para 15 m, e consequente discriminação das feições mapeadas.

Em seguida, a imagem fusionada foi incorporada a um banco de dados multiusuário no software Terra Amazon 4.6.2, (FUNCATE, 2016), com a aplicação da metodologia DETEX (Guimarães, 2012), a qual consiste na aplicação do modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), para separar três componentes principais, solo, sombra e vegetação proporcionalmente contidas em cada pixel, provenientes da integração da radiância dos elementos captados pelo sensor em cada elemento de resolução (Shimabukuro e Smith, 1991), realçando as áreas de extração seletiva de madeira.

Seguindo da operação aritmética da razão entre os componentes solo e vegetação extraídos do modelo de mistura acrescidas de ganho e *Offset*. De posse dessas imagens extraiu-se as métricas texturais propostas por Haralick. A fase posterior consistiu na tabulação dos dados extraídos das métricas texturais, para isso foi utilizado diversas técnicas de geoprocessamento através dos softwares Quantum Gis e posteriormente o PostGrees com linguagem de banco de dados SQL para união das tabelas. A terceira fase é desenvolvida com o levantamento de informações de localização e, parâmetros dendrométricos e estruturais de todos os indivíduos

árbores inventariados na área de estudo, dois diâmetros mínimos de inclusão de árvores foi testado: diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 40 e 60 cm.

O algoritmo proposto por Haralick et al., 1973 é o mais comum para medição de textura de imagens ópticas, este demonstra que cada elemento da matriz de co-ocorrência dos níveis de cinza (GLCM – Grey levels co occurrence matrix) é uma medida de probabilidade de uma ocorrência de dois valores de níveis de cinza separados por uma distância dado em um dado sentido. Haralick propuseram quatorze medidas descritoras da matriz de co-ocorrência. Aplicados conforme a metodologia proposta que é demonstrada na Figura 2.

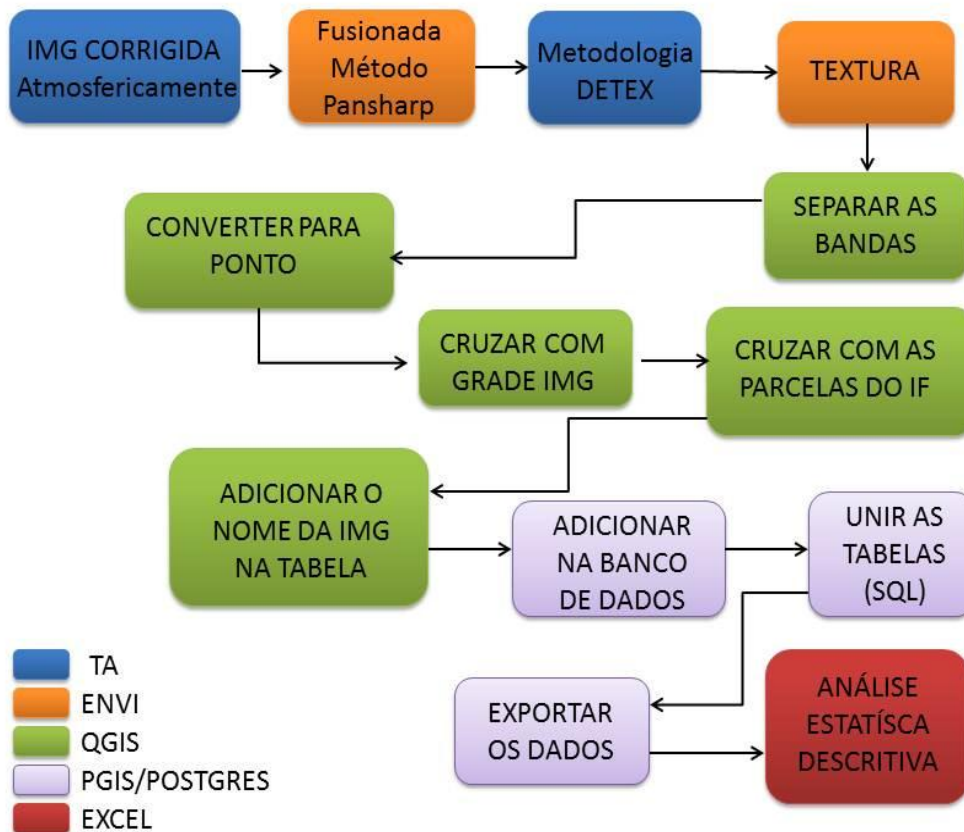


Figura 2. Proposta metodológica para extração de valores de área basal por métricas texturais.

2.2.3 Análise dos Dados

Neste estudo as informações estruturais coletadas em campo (inventário florestal), foram correlacionadas com as medidas de textura extraídas das imagens do satélite Landsat 8 do sensor OLI para os anos de 2014 (antes exploração florestal) e 2015 (pós exploração) processadas com base na metodologia DETEX.

Procedeu-se a análise dos dados utilizando o software livre Quantum GIS para a extração das informações texturais contidas nas imagens processadas. Os dados gerados foram recortados pelos arquivos vetoriais, materializados por meio de GPS de navegação, dos vértices das parcelas (50 x 50 m) e assim extraídos os valores de nível de cinza de cada pixel referente a cada unidade amostral. Posteriormente, os níveis de cinza foram correlacionados com a área basal remanescente dos inventários florestais de 12 parcelas. A área basal remanescente (G, em m²/ha) das parcelas foi obtida a partir da soma da secção transversal de árvores com DAP ≥ 40 ou ≥ 60 cm, possuindo copa com iluminação parcial e total, indicando que estes indivíduos possuem área livre de copa no dossel da floresta totalmente e/ou parcialmente

iluminadas (Silva et al., 2005), conforme é mostrado na Figura 3 e 4. A análise estatística se deu pela relação da média de nível de cinza dos atributos texturais e a somatória da área basal remanescente (m^2/ha) em cada unidade de amostral ($n=12$) para o cálculo do coeficiente de determinação (r^2) e o teste de significância ANOVA com valor de F.

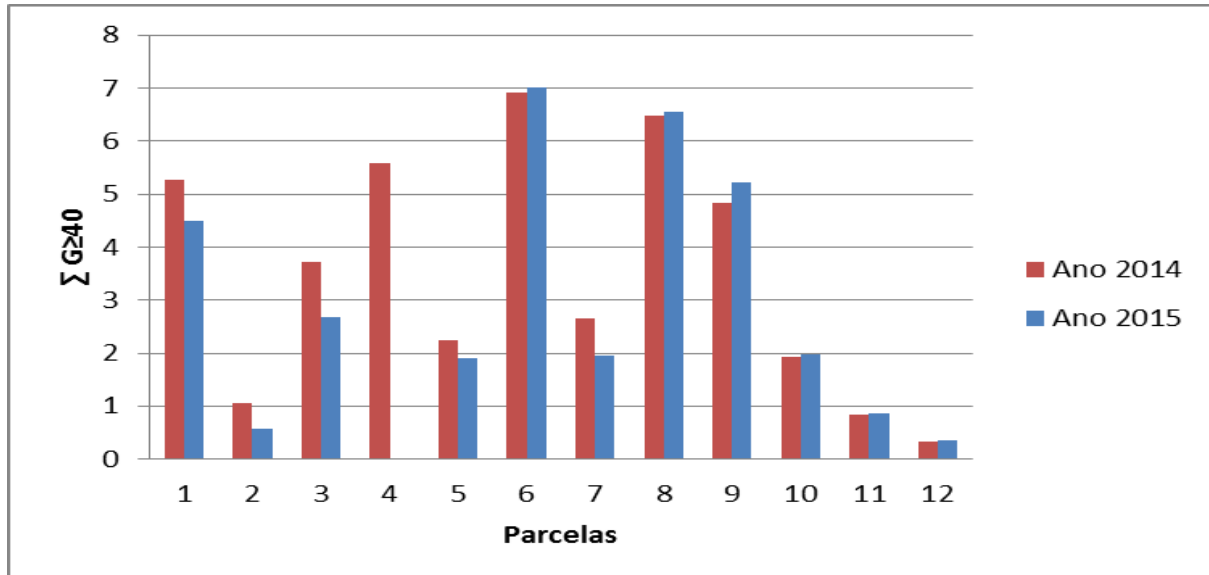


Figura 3. Distribuição da área basal remanescente ao longo das parcelas no experimento da EMBRAPA, Km 67 da Flona do Tapajós para $\Sigma G \geq 40$ (m^2/ha). Valores calculados para indivíduos com DAP > 40 cm em 2014 e 2015.

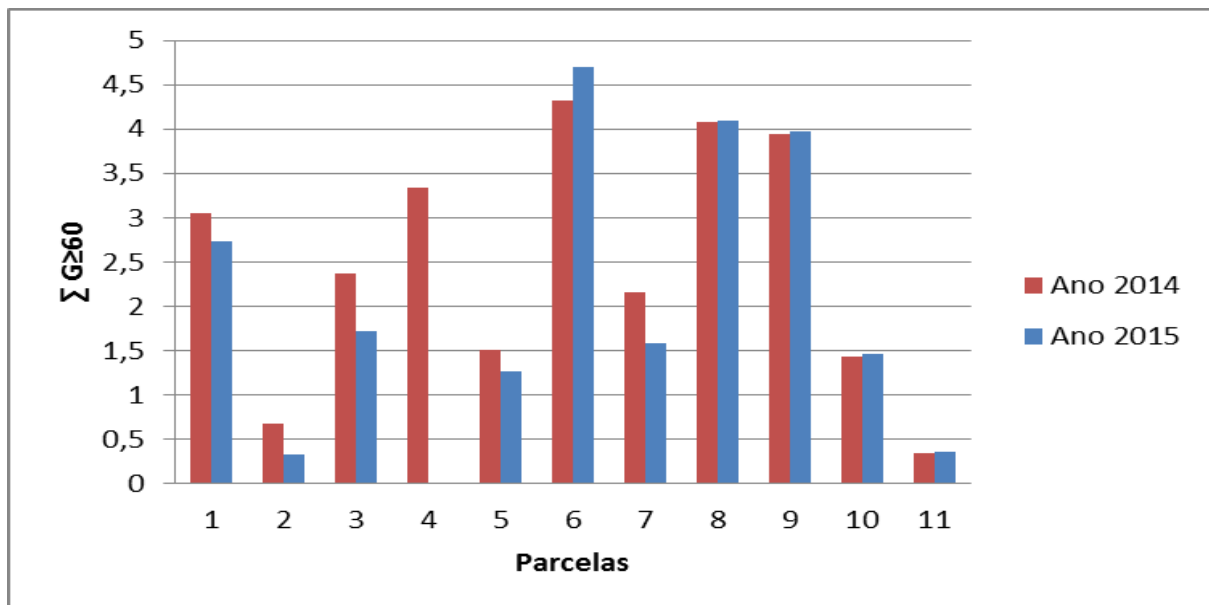


Figura 4. Distribuição da área basal remanescente ao longo das parcelas no experimento da EMBRAPA, Km 67 da Flona do Tapajós para $\Sigma G \geq 60$ (m^2/ha). Valores calculados para indivíduos com DAP > 60 cm em 2014 e 2015.

3. Resultados e Discussão

Dentre quatorze medidas texturais propostas por Haralick foram escolhidas apenas cinco medidas texturais aos quais segundo Sette (2009) são as mais adequadas para esse tipo de mapeamento. Nas análises das imagens de sensoriamento remoto foram usadas neste trabalho

as seguintes medidas texturais, dentre as quais: contraste (COM), correlação (COR), entropia (ENT), homogeneidade e segundo momento angular (SMA). Os resultados obtidos entre a área basal remanescente, ou seja, a ocupação do espaço da floresta pela árvores após a execução da exploração florestal e os valores de textura de Haralick são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos em função da textura de Haralick com a matriz de co-ocorrência, com janelas e direções distintas. Os valores de r^2 em negritos são valores de maiores significância, adotando que o $p < 0,05$. *Valores $p < 0,05$ com significância estatística; ** Valores de $p > 0,05$ não significativos.

Ano 2014 (antes)		Contraste	Correlação	Entropia	Homogeneidade	SMA (Segundo Momento Angular)
DAP ≥ 40 cm	Janela	7x7	7x7	3x3	7x7	3x3
	Direção	0x3	1x1	5x5	0x3	5x5
	R ²	*0,32	*0,42	*0,26	**0,36	*0,36
DAP ≥ 60 cm	Janela	9x9	3x3	9x9	11x11	3x3
	Direção	5x5	0x3	5x5	5x5	5x5
	R ²	**0,30	**0,32	*0,24	**0,30	**0,29
Ano 2015 (após)		Contraste	Correlação	Entropia	Homogeneidade	SMA (Segundo Momento Angular)
DAP ≥ 40 cm	Janela	11x11	3x3	7x7	11x11	7x7
	Direção	1x1	5x5	1x1	1x1	3x3
	R ²	*0,15	**0,03	*0,14	**0,10	**0,03
DAP ≥ 60 cm	Janela	3x3	11x11	11x11	11x11	7x7
	Direção	5x5	0x3	5x5	5x5	2x2
	R ²	*0,33	*0,05	**0,12	*0,14	**0,06

A textura de Haralick mostrou relação com dados de área basal para indivíduos com diâmetro superiores a DAP ≥ 40 cm estatisticamente significativos para as variáveis correlações, SMA e contraste nas direções 1x1, 5x5 e 0x3, respectivamente, em áreas antes da atividade de exploração florestal (2014). Isso demonstra que para dosséis mais fechados a contribuição de indivíduos de estratos superiores são similares as de indivíduos emergentes na floresta. Estes valores foram similares aos encontrados por De Almeida (2009) o qual encontrou valores estatisticamente significativos quando avaliou em seu trabalho floresta ombrófila densa em população considerada uniforme, porem quando os mesmos foram avaliados de forma diferenciada foram superiores os valores de determinação. Assim em seu trabalho no bioma da Mata Atlântica, o qual correlacionou variáveis texturais com valores de área basal em diferentes estágios de sucessão e encontrou resultados similares para os diferentes estágios de regeneração, e próximos aos encontrados no presente artigo.

Já para o ano de 2015 (após a exploração florestal) os melhores resultados foram constatados para valores de área basal de árvores com DAP ≥ 60 cm com R² de 0,33 e 0,14 para Contraste e Homogeneidade, respectivamente. Embora os valores de coeficiente de determinação tenham sido inferiores, a relação com a área basal remanescente para indivíduos com DAP ≥ 60 cm comprovou que os indivíduos remanescentes do extrato emergente na

floresta foram mais importantes para o entendimento do comportamento da exploração florestal nas áreas estudada.

Na maioria dos casos, os tamanhos de janelas pequenos utilizados deram uma melhor resposta, todavia Nascimento (2003) comprovou através de seu trabalho que janelas maiores são responsáveis pela melhora na classificação de área de floresta quando se utiliza matriz de co-ocorrência de níveis de cinza, baseados em características de texturas.

Os coeficientes de determinação indicaram que os valores da proporção da variância da variável dependente (área basal remanescente) em torno de sua média pode ser explicada satisfatoriamente pelas variáveis (textura de Haralick), pois os resultados encontrados antes e após a exploração florestal foram considerados significativos com probabilidade de confiança ($\alpha = 95\%$).

4. Conclusões

Com base nos resultados pode-se considerar que as técnicas de filtros texturais proposto por Haralick demonstram resultados satisfatórios, permitindo que a metodologia proposta possa ser replicada para outros ambientes de estudo por ser fundamentadas em levantamento de parâmetros em campo, extração das medidas de textura e análise estatísticas.

A remoção da área basal causada pela exploração florestal licenciada foi perceptível ao se utilizar a textura de Haralick aplicada a metodologia de detecção de áreas de exploração florestal realizada no DETEX.

Espera-se que com os resultados obtidos no artigo, possa-se contribuir de forma significativa para o estudo espacial dos ambientes florestais podendo proporcionar eficiência e rapidez em estudos de vegetação, contribuindo assim para o monitoramento das florestas.

Referências Bibliográficas

Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., Keller, M.; Silva, J. N.. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, 5747(310), 480–482, 2005.

Barbosa, A. M.; Salum, M. R. B.; Almeida, C. A.; Valeriano, D. M. Identificação multitemporal da exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Jamari – RO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5625-5632. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15825-PRE/10435). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.35.53>>. Acesso em: 16 out. 2016.

Castro, T. N. **Análise de textura de imagem de alta resolução para classificação dos estágios sucessionais de mata Atlântica do Sul da Bahia**. 2012. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2012.

De Almeida, P. G. C. S. **Análise de textura de imagem de alta resolução para classificação dos estágios sucessionais de mata Atlântica do Sul da Bahia**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.

Silva, J. N. M. et al. Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. EMBRAPA Amazônia Oriental - CPATU- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 68 p il.. 2005.

EXELISVIS. ENVI. versão 4.7. :EXELIS 2016. Disponível em: <http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVIPProducts/ENVI/ENVIModules.aspx>. Acesso em 18 out. 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005: 15 resultados claves, Nações Unidas, 2005.

FUNCATE - Fundação de Ciência e Tecnologia Espaciais. TerraAmazon 4.4.1, 2013. São José dos Campos. <http://www3.funcate.org.br/geo//available/wiki-v01-TerraAmazon/pmwiki.php/Downloads/Downloads> Acesso em 18 out. 2016.

Guimarães, U. S.; Gomes, A. R.; "Detecção De Exploração Seletiva De Madeira Utilizando Os Satélites Landsat 5 Tm E Resourcesat 1 Liss-3 Em Áreas De Manejo Florestal Do Leste Do Estado Do Acre, Brasil. In: **Symposium SELPLER**, 15, 2012, Cayenne – Guiana Francesa. Anais... Cayenne – Guiana Francesa, 2012.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de Manejo 2004. Disponível em: <http://observatorio.wwf.org.br/site_media/upload/gestao/planoManejo/PM_flona_tapajos.pdf>. Acesso em: Outubro 2016.

R. M. Haralick; K. Shanmugam; A. Dinstein. Textural Features for Image Classification. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-3, n.6, Nov. 1973.

Luz, N. C., Batista D.A.A., Maia J. S., Adami M., Gomes A. R. Parâmetros de exploración maderera para la detección de corte selectivo en imagines de media resolución espacial En: **Latín American Remote Sensing Week (LARS) – Regional ISPRS Conference**, Santiago - Chile, 23-25 de octubre 2013.

Venturieri, A.; Lombardo, M.A; Laques, A.E. **Utilização de modelos de paisagem na caracterização da frente pioneira do município de Uruará, Amazônia Oriental, Pará**. In: Magda Adelaide Lombardo; Lucia Helena de Oliveira Gerardi. (Org.). Sociedade e Natureza na visão da Geografia. Rio Claro: AGETEO, 2004, v., p. 47-61.

Nascimento, J. P. R. **Análise e classificação de imagens baseadas em características de textura utilizando matrizes de co-ocorrência**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

Sabogal, C.; Pokorny, B.; Silva, J. N. M.; Carvalho, J. O. P.; Zweede, J.; Puerta, R. **Diretrizes técnicas de manejo para a produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém, Para: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 217 p.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

Unidades de Conservação no Brasil. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br/uc/6476/>>. Acesso em: 13.out.2016.

Veloso, H. P. et al. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.