

## **Análise do comportamento espectro-temporal do Eucalipto na região do município de São Bento do Tocantins**

Leandro Guimarães Maranhã<sup>1,2</sup>  
Ieda Del'Arco Sanches<sup>3</sup>  
Lineardo Ferreira de Sampaio Melo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO  
Campus Araguatins  
Povoado Santa Tereza, s/n , Araguatins – TO, Brasil, CEP 77950-000  
lineardo@ifto.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Setor de Ciências da Terra  
Caixa Postal 19001 - 81.531-990 – Curitiba - PR, Brasil  
Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 – Jardim das Américas – Curitiba - PR  
leandromaranha@hotmail.com

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
ieda.sanches@inpe.br

**Abstract.** Planted forests provide raw materials for industrial and non-industrial uses present in our daily lives (e.g. wood for construction, furniture; paper and charcoal). They also contribute to avoid deforestation of native forests, which make their monitoring important not only for production, but also for conservation purposes. In Brazil, in 2012, the area occupied with forest plantations reached 6.6 million hectares, being 77% of this amount corresponding to Eucalyptus. Scientific research that provides development of planted forest should be strengthened to meet the growing demand of this sector. Remote sensing has been used in researches, worldwide, in almost all branches of science, including forestry. However, for the adequate use of this technology for the monitoring of forest species, it is necessary first to have acknowledged about the spectral behavior of the plants to be monitored, throughout its development. In this context, this work aimed to do a multi-temporal analysis of the spectral behavior of Eucalyptus Forest, of different ages, based on the analysis of 24 OLI/Landsat-8 images acquired in the years 2013, 2014 and 2015. It was observed that the spectral response of Eucalyptus forests up to 36 months old was greatly influenced by the soil response, since the plants did not reach a size capable of covering the soil yet. The different Eucalyptus age classes presented more spectral similarity when analyzing the EVI values compared to the NDVI. The results found suggest that multi-temporal studies might benefit from incorporating information about precipitation in the analysis.

**Palavras-chave:** Reflectance, Vegetation Indices, Remote Sensing, OLI/Landsat-8, Reflectância, Índices de Vegetação, Sensoriamento Remoto, OLI/Landsat-8.

### **1. Introdução**

Em 2012 a área ocupada por plantios florestais no Brasil alcançou a marca de 6,6 milhões de ha, sendo que 76,6% correspondem a áreas plantadas com Eucalipto (5,1 milhões de ha) e 23,4% com Pinus (1,5 milhões de ha). Minas Gerais apresenta-se como líder de área plantada com Eucalipto no país, em 2006 contava com 1.181.429 ha e em 2012 passou para 1.438.971 ha, neste período o incremento de área plantada foi da ordem 21,8%. Por outro lado, no Estado do Tocantins, em 2006 a silvicultura era incipiente e haviam apenas 13.901 ha plantados com Eucalipto. No entanto, em 2012 houve crescimento de 684,11% na área plantada em relação a 2006, totalizando 109.000 ha reflorestados com clones de Eucalipto (ABRAF, 2013).

Devido ao alto dinamismo das atividades florestais e pela grande importância desse setor para o país, surge a necessidade de se conhecer e avaliar cada vez mais e com maior

frequência os empreendimentos ligados à atividade florestal, sobretudo de forma rápida e segura, como passo prévio para seu manejo e exploração eficientes (Moreira, 1984).

De acordo com Souza et al. (2007), o sensoriamento remoto vem sendo empregado em trabalhos de pesquisas dentro de praticamente todos os ramos da ciência, dentre os quais destaca-se a ciência florestal. Soares et al. (2005), apontam que nas empresas do setor florestal, o inventário de suas plantações exige contínuo monitoramento devido a sua dinâmica, que é influenciada pela variabilidade de estágios de desenvolvimento e de espécies, incêndio, pragas, doenças, corte e plantio, dentre outros. Para este mesmo autor, estas características que são próprias aos plantios de Eucaliptos, inviabilizam o gerenciamento de suas atividades apenas com um banco de dados descritivo, sendo de fundamental importância a associação do componente espacial da informação, compondo um Sistema de Informação Geográfica (SIG). No entanto, para o adequado uso do sensoriamento remoto para o monitoramento de espécies florestais (assim como outros alvos), é preciso ter uma informação base importante, que consiste no levantamento do comportamento espectral das plantas a serem monitoradas, ao longo do seu desenvolvimento.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento espectro-temporal do Eucalipto em diferentes faixas de idades, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, numa análise multitemporal para os anos de 2013, 2014 e 2015. O trabalho foi realizado a partir de imagens OLI/Landsat-8, referentes às órbitas/pontos 222/064 e 223/064, com resolução espacial de 30 m. As imagens utilizadas foram obtidas em diferentes épocas do ano, de acordo com a disponibilidade de imagens com baixa incidência de nuvens sobre as áreas de estudo.

## 2. Metodologia de Trabalho

No estudo foi utilizado o seguinte material:

- ✓ Notebook com processador Intel Core I5, 6 GB RAM e HD 750 GB;
- ✓ *Software* QGIS, versão 2.12 Lyon, licença gratuita;
- ✓ *Software* Sistema de Processamento de Informações Geográficas (SPRING), versão 5.3, licença gratuita, disponibilizado pelo Departamento de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DPI/INPE;
- ✓ *Software* Microsoft Office Excel, versão 2007;
- ✓ Imagens OLI/LANDSAT-8 (Tabela 1);
- ✓ Receptor GPS Garmin, modelo *GPSmap 76CSx*;
- ✓ Câmera Digital Fujifilm modelo FinePix S4200 16 megapixels.

Na Tabela 1 são apresentadas as datas de aquisição e a órbita-ponto de cada imagem adquirida para o estudo. Na Tabela 2 podem ser observadas as bandas do sensor OLI/Landsat-8 que foram utilizadas, e seus respectivos intervalos de comprimento de ondas e resolução espacial.

Para a realização do estudo foram utilizadas vinte e quatro cenas OLI/Landsat-8 nas órbitas/pontos 222/064 e 223/064 com resolução espacial de 30 metros, sendo cinco cenas no ano de 2013, seis em 2014 e treze em 2015 (Tabela 1).

As cenas utilizadas foram selecionadas por meio do sítio eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov/> e posteriormente adquiridas gratuitamente através da internet na plataforma <https://espa.cr.usgs.gov/>, ambos sites pertencentes ao *Unite State Geological Survey* (USGS). As imagens disponibilizadas pelo USGS já são pré-processadas, desta forma o usuário não necessita realizar os procedimentos de georreferenciamento, correção atmosférica e definição do sistema de projeção. O Índice de Vegetação NDVI foi disponibilizado como cortesia pelo *Landsat Spectral Indices - USGS Earth Resources Observation and Science Center*.

Tabela 1. Datas de aquisição e órbita-ponto das cenas OLI/Landsat-8 utilizadas.

Data de aquisição		Órbita-ponto	Data de aquisição		Órbita-ponto
<b>1</b>	17-05-13	222-064	<b>13</b>	14-05-15	223-064
<b>2</b>	09-06-13	223-064	<b>14</b>	15-06-15	223-064
<b>3</b>	11-07-13	223-064	<b>15</b>	24-06-15	222-064
<b>4</b>	05-08-13	222-064	<b>16</b>	17-07-15	223-064
<b>5</b>	15-10-13	223-064	<b>17</b>	18-08-15	223-064
<b>6</b>	12-06-14	223-064	<b>18</b>	27-08-15	222-064
<b>7</b>	07-07-14	222-064	<b>19</b>	12-09-15	222-064
<b>8</b>	30-07-14	223-064	<b>20</b>	05-10-15	223-064
<b>9</b>	08-08-14	222-064	<b>21</b>	14-10-15	222-064
<b>10</b>	15-08-14	223-064	<b>22</b>	21-10-15	223-064
<b>11</b>	09-09-14	222-064	<b>23</b>	30-10-15	222-064
<b>12</b>	27-03-15	223-064	<b>24</b>	01-12-15	222-064

Tabela 2. Nome, intervalo de comprimento de onda e resolução espacial das bandas do sensor OLI/Landsat-8 utilizadas no trabalho.

Bandas	Intervalo espectral (micrometros)	Resolução (metros)
Banda 2 – Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 – Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 – Vermelho	0.64 - 0.67	30
Banda 5 – IVP	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30

IVP – infravermelho próximo; SWIR – infravermelho de ondas curtas.

Para a determinação das curvas espectrais do Eucalipto que serviram de base para a análise do comportamento espectro-temporal utilizou-se os procedimentos descritos abaixo:

1. Obtenção das imagens em reflectância da superfície e NDVI do OLI/Landsat-8 para os anos 2013, 2014 e 2015;
2. Visita a campo para determinação de pontos amostrais;
3. Preparação das imagens no SPRING;
4. Cálculo do Índice de Vegetação *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (Huete et al., 1997) com base nas imagens;
5. Definição das áreas de estudo dentro das órbitas-ponto estabelecidas, para cada classe, e delimitação das áreas nas imagens utilizando o QGIS;
6. Extração dos valores de reflectância médio dos alvos selecionados, de cada classe, nas bandas espectrais 2-7 do sensor OLI e dos índices de vegetação NDVI e EVI, para cada imagem;
7. Tabulação dos dados e obtenção dos perfis espectrais (índices de vegetação e valores de reflectância por banda espectral) dos alvos selecionados;
8. Obtenção de séries de dados climatológicos (precipitação) e correlação desses com os perfis espectro-temporais das classes de uso;
9. Análise dos perfis espectro-temporais das quatro classes de uso;

Na visita de campo, que foi realizada no dia 29 de março de 2016, foi utilizado um aparelho receptor GPS para obtenção das coordenadas dos pontos amostrais e uma câmera digital para registro fotográfico das áreas das amostras escolhidas. As áreas das amostras estão representadas na Figura 1.

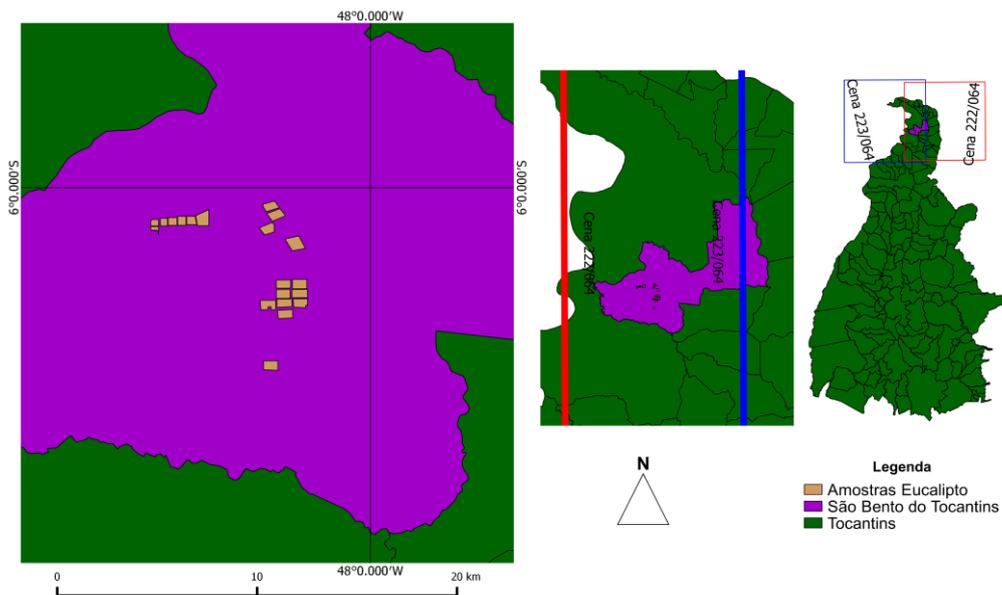


Figura 1. Mapa de localização das amostras coletadas no município de São Bento do Tocantins (TO).

As amostras de Eucalipto foram escolhidas dentro da zona de sobreposição das duas órbitas/ponto (222/064 e 223/064) que abrangem os municípios de Araguatins (TO) e São Bento do Tocantins (TO). Também foram coletadas amostras de floresta nativa, cerrado, e pastagem, mas que essas não foram abordadas no presente estudo. Foram consideradas sete classes de acordo com a idade dos talhões de Eucalipto: <12 meses, 13-24 meses, 25-36 meses, 61-72 meses, 73-84 meses, 85-96 meses e >96 meses. Na Figura 2 são mostrados, como exemplos, dois pontos amostrais das florestas de eucalipto, em idades diferentes.



Figura 2. Exemplos de pontos amostrais de Eucaliptos na idade de (a) 13 a 24 meses e (b) 73 a 84 meses.

### 3. Resultados e Discussão

Nas Figuras 3-8 são apresentados gráficos com os valores de reflectância de superfície (em porcentagem) das bandas 2-7 do sensor OLI/Landsat-8 e os índices NDVI e EVI, para as diferentes classes de Florestas de Eucalipto, juntamente com a precipitação mensal observada para o período analisado. É importante notar que foram adotados diferentes intervalos de valores para o eixo y dos gráficos, para facilitar a visualização dos espectros das diferentes classes, mesmo nas bandas de baixa reflectância (bandas do visível). Conforme pode ser observado nas Figuras 3-8, infelizmente, não foi possível adquirir dados espectrais de todas as

amostras de Eucalipto nos três anos selecionados, por causa da cobertura de nuvens nas imagens OLI da área de estudo.

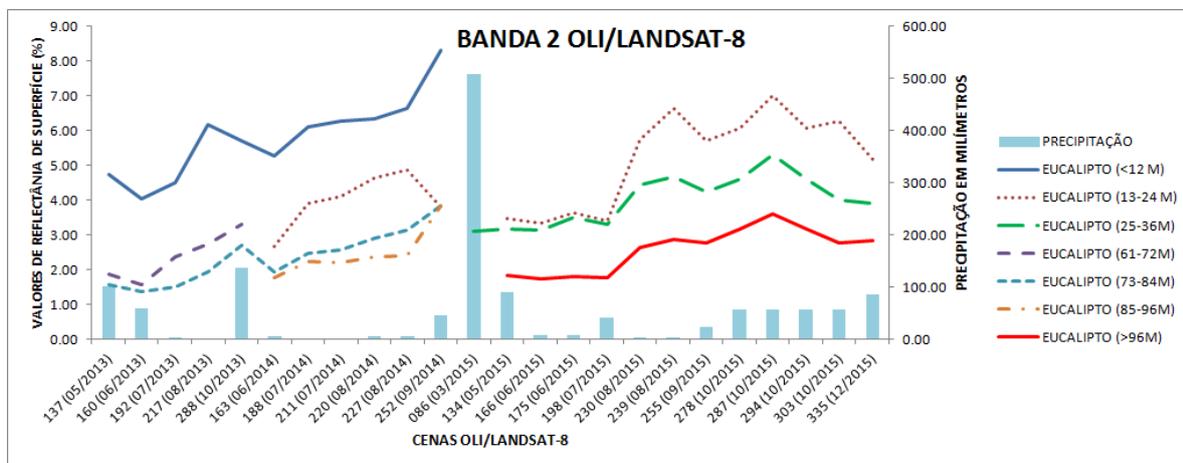


Figura 3. Reflectância na banda 2 (faixa espectral do azul) das classes de Florestas de Eucalipto.

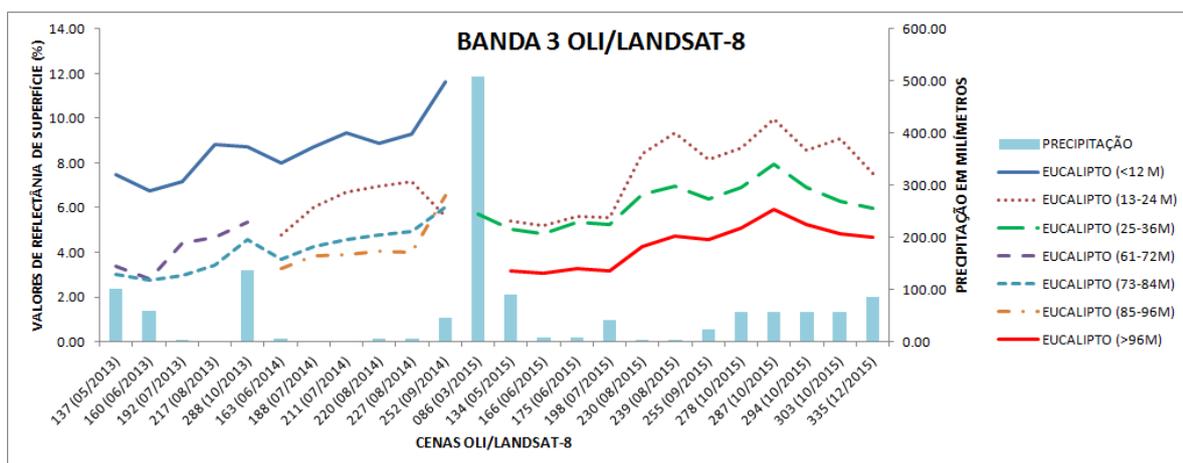


Figura 4. Reflectância na banda 3 (faixa espectral do verde) das classes de Florestas de Eucalipto.

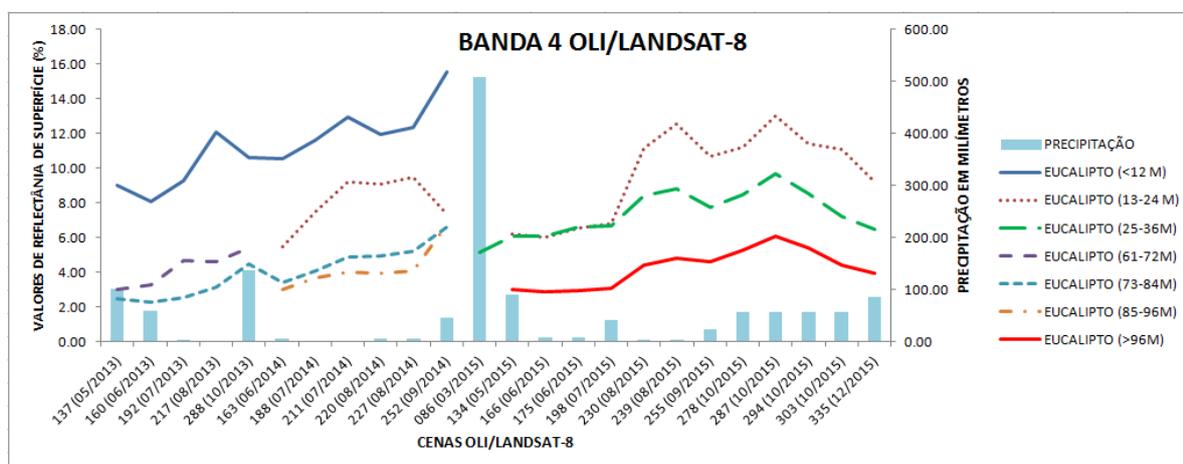


Figura 5. Reflectância na banda 4 (faixa espectral do vermelho) das classes de Florestas de Eucalipto.

Observando os valores de reflectância das bandas do visível (2, 3 e 4), percebe-se que as classes de até 24 meses de idade apresentam os maiores valores. Esse comportamento evidencia a forte influência da reflectância do solo nessas áreas, visto que o dossel vegetal não está suficientemente desenvolvido para cobrir o solo.

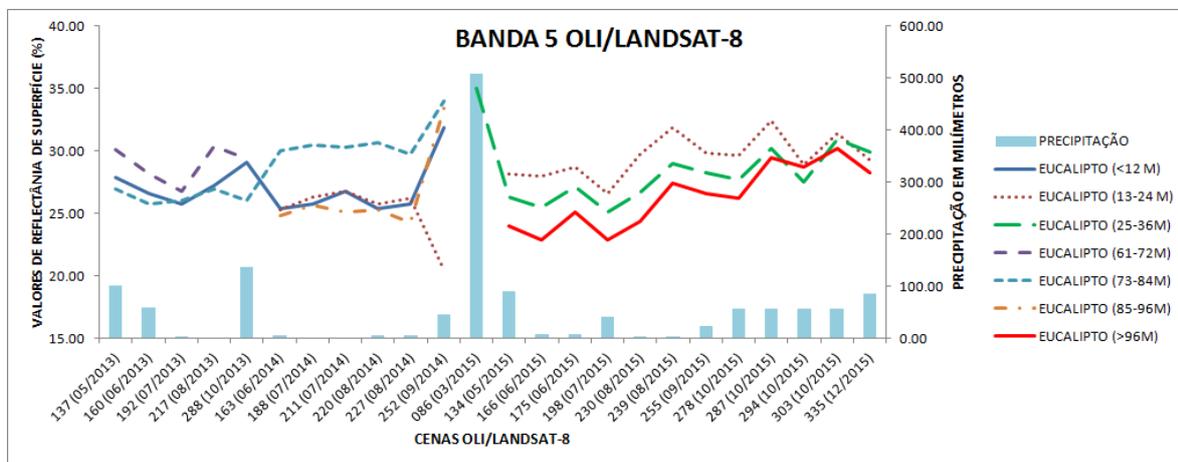


Figura 6. Reflectância na banda 5 (IVP) das classes de Florestas de Eucalipto.

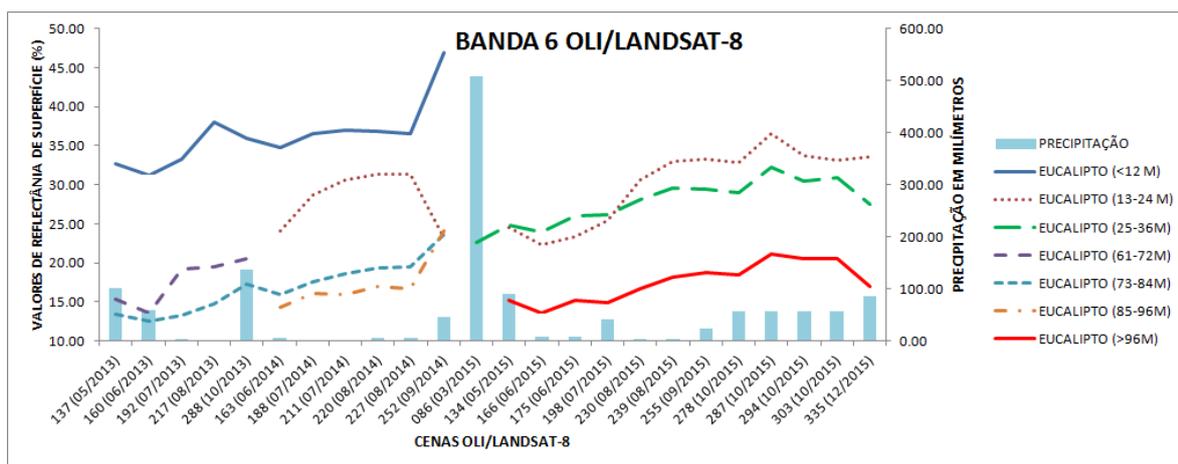


Figura 7. Reflectância na banda 6 (SWIR 1) das classes de Florestas de Eucalipto.

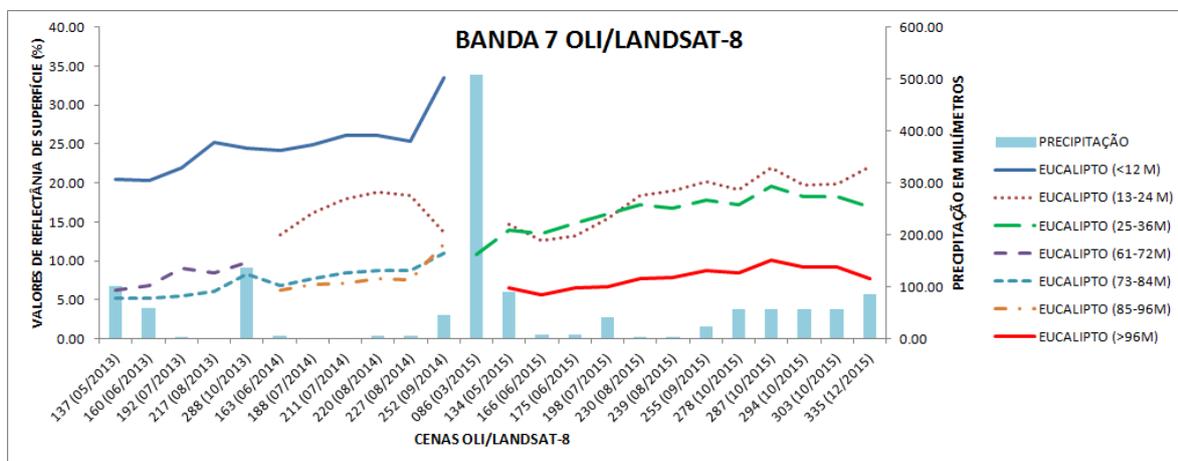


Figura 8. Reflectância na banda 7 (SWIR 2) das classes de Florestas de Eucalipto.

Na banda 5 (IVP) podemos observar facilmente a forte tendência de aumento da reflectância para todas as faixas de idade quando ocorreu precipitação pluviométrica.

Nas bandas 6 e 7 (SWIR), de forma geral, o comportamento espectral foi semelhante entre as mesmas classes, diferindo apenas na amplitude dos valores, sendo que as classes com menores idades (inferior a 36 meses) apresentaram as maiores reflectâncias, enquanto que as classes com idade superior a 61 meses tiveram os menores valores registrados. Essas bandas são de grande importância para os estudos da vegetação, pois se encontram na faixa do infravermelho de ondas curtas, o qual possui relação inversa da reflectância com o grau de umidade do dossel vegetal (Moreira, 2011).

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os valores de NDVI e EVI para as classes Eucalipto de diferentes idades. Destaca-se que os dados de NDVI apresentaram maior variação intraclasses do que os de EVI. As classes acima de 61 meses de idade destacam-se sempre com os valores mais elevados tanto do NDVI quanto do EVI. Algumas variações espectrais que ocorreram parecem estar relacionadas às variações de precipitação pluviométrica. Áreas com dossel vegetal mais denso apresentaram maior estabilidade nos índices ao longo do tempo do que as áreas com dosséis menos densos. Variações acentuadas nesses índices, quando ocorrem, podem estar relacionados com distúrbios que possam provocar a perda da folhagem ou disfunção fisiológica do dossel, como ataque de pragas e doenças, problemas nutricionais, déficit hídrico prolongado, queimadas, etc. Verifica-se que no período estudado as áreas amostrais não sofreram com os possíveis problemas supracitados, a única alteração foi quanto a disponibilidade de água, que foi percebida, de forma geral, pelos valores mais baixos dos índices nos períodos de seca.

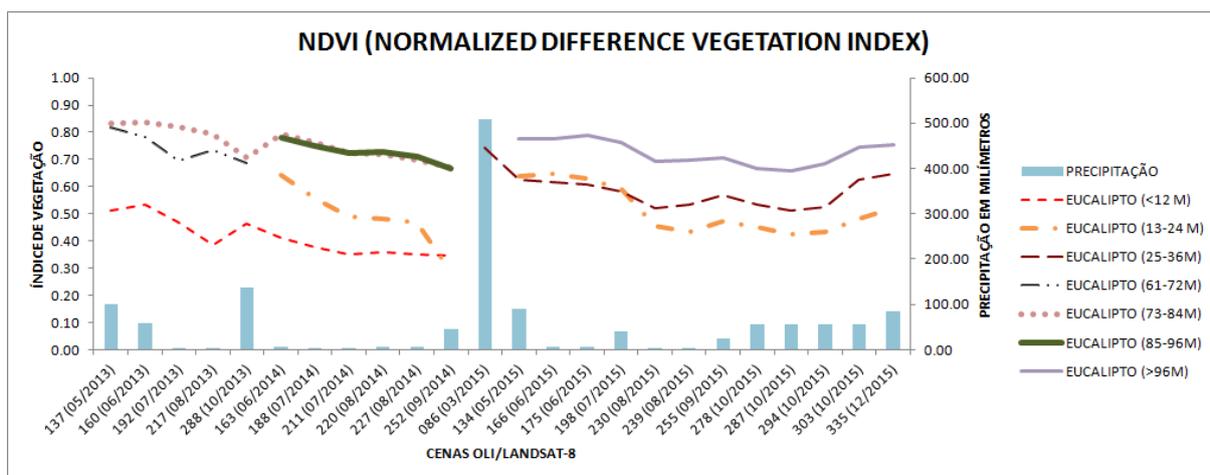


Figura 9. Perfil espectro-temporal do NDVI das classes de Florestas de Eucalipto.

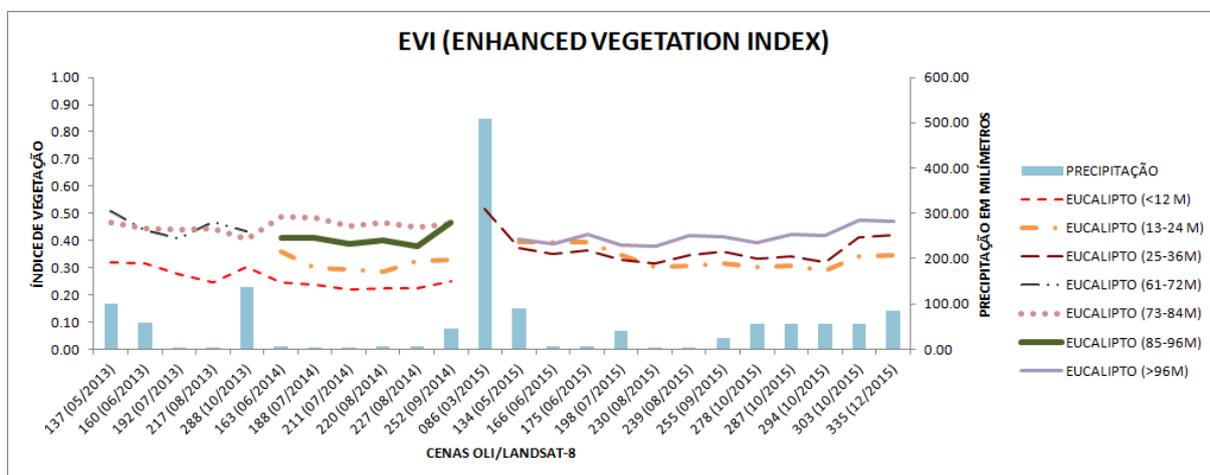


Figura 10. Perfil espectro-temporal do EVI das classes de Florestas de Eucalipto.

#### 4. Conclusões

A metodologia adotada neste estudo foi considerada satisfatória, pois possibilitou alcançar o objetivo proposto de levantar e analisar o comportamento espectro-temporal das de Florestas de Eucalipto, em diferentes idades fenológicas, ao longo de três anos.

Com base no conhecimento do comportamento padrão das florestas, é possível monitorá-las ao longo do tempo por sensoriamento remoto, e detectar possíveis anomalias no comportamento típico esperado, que podem ser indicadores de estresse da vegetação, déficit hídrico prolongado, degradação, contaminação, etc.

Em todas as classes estudadas, apresentou-se tendência de correlação positiva com os dados de precipitação pluviométrica, sendo que os maiores valores dos índices de vegetação ocorreram nos períodos chuvosos, e os menores nos períodos secos. Isso mostra a necessidade de incorporar dados sobre precipitação nas análises dos perfis espectro-temporais de vegetação, para uma interpretação coerente do que acontece no campo. Isso inclusive pode evitar que mudanças ocasionadas pela precipitação sejam erroneamente relacionadas a outros fatores.

#### Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013. 148 p. : il. color; 21 cm.

Gausman, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 1725-1734, 1985.

Huete, A. R., Liu, H.Q., Batchily, K., van Leeuwen, W. A Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v.59, n. 3, p.440-451, 1997.

Liu, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2 ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

Moreira, M. **Identificação de reflorestamentos por meio da análise quantitativa de imagens orbitais Landsat**. 1984. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

Ponzoni, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. In: Rudorff, B. F. T. et al. **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, 2002. 279 p. (INPE-8984-PUD/62).

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Soares, V. P.; Guimarães, W. D.; Ribeiro, C. A. A. S.; Silva, A. S. Uso de imagens Landsat-7 ETM+ para o mapeamento de plantações de *Eucaliptus* na região norte de minas gerais. **Floresta**, Curitiba, v.35, n. 1, p. 137-149, jan./abr. 2005.

Souza, C. C. de; Moreira, A. Z.; Schimith, R. S.; Brandão, P. C.; Silva, E. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil – uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 409-417, out-dez, 2007.