



Comparación de NDVI para dos diferentes especies de eucalipto

Laura Camila de Godoy Goergen¹, Matheus Nunes Silva², Emanuel Araújo Silva³ e Rudiney Soares Pereira⁴

Resúmen - El estudio he llevado a cabo el análisis de la vegetación a partir de la dinámica del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) en *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus urograndis*, comparando el NDVI generado a partir de los números digitales con el obtenido a partir de la conversión para reflectancia aparente. Para esto, se utilizó las imágenes del sensor TM/Landsat 5. La conversión de números digitales (ND) para los valores de reflectancia, así como el cálculo del NDVI se obtuvieron a través de operaciones de análisis de lenguaje espacial de Geoprociamiento Algebraica (LEGAL). El análisis efectuado pone de manifiesto que los valores de NDVI generados a partir de las reflectancias son mayores que los determinados por los ND. Esta diferencia observada se justifica físicamente por las correcciones hechas a la imagen de algunos parámetros, como las radiancias mínima y máxima del sensor y la irradiancia solar estratosférica media. El *E. dunnii* presentó valores mayores de NDVI cuando comparado al *E. urograndis*, apuntando que esta es una herramienta útil cuando el objetivo es identificar las especies, facilitando el manejo del área.

Palabras clave: Teledetección, Índice de vegetación, Landsat 5.

Comparison of NDVI for different species of eucalyptus

Abstract - The study aimed to analyzed the vegetation from NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dynamics in *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus Urograndis* comparing the NDVI generated from the digital numbers obtained from the conversion to apparent reflectance. The satellite images of TM/Landsat 5 sensor was used. Converting digital numbers (DN) to reflectance values and the calculation of the NDVI were obtained through spatial analysis operations Algebraic Geoprocessing Language (LEGAL). It was observed that NDVI values generated from the reflectances are greater than those determined by the DN.

¹ Engenheira Florestal, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Av. Luiz de Camões, nº 2090, Conta Dinheiro, CEP 88520-000 Lages, SC, Brasil. E-mail: lauragoergen@yahoo.com.br

² Engenheiro Florestal, Diretor Executivo Sul Florestas, Avenida Papa João XXIII, nº 1555, Petrópolis, CEP 88505-200, Lages, SC, Brasil. E-mail: matheus.silva@sulflorestas.com.br

³ Engenheiro Florestal, Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). E-mail: emanuelmadster@gmail.com

⁴ Engenheiro Florestal, Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, no 1.000, Campus Universitário, CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: rudiney.s.pereira@gmail.com

This observed difference is physically justified by the corrections made in the image of some parameters such as the minimum and maximum sensor radiances and mean stratospheric solar irradiance. *E. dunnii* presented higher values of NDVI when compared to *E. urograndis*, indicating that this is a useful tool when the objective is to identify the species, facilitating the management of the area.

Keywords: Remote sensing, vegetation indices, Landsat 5.

Introducción

Las plantaciones de eucalipto ocupan 5,7 millones de hectáreas del área de árboles plantados en Brasil y en el año 2016, el país lideró el ranking global de productividad forestal, con una media de 35,7 m³/ha al año para los plantíos de eucalipto (IBA, 2017). La inversión en tecnología e investigación es uno de los factores responsables por el destaque del sector en el país y en el mundo. Diferentes técnicas de teledetección han sido utilizadas para obtener informaciones de plantaciones forestales y agrícolas, como el monitoreo de cosecha, fenología, estimaciones de variables como biomasa y volumen.

Los índices de vegetación son una de las técnicas de teledetección que permiten extraer informaciones de la vegetación. Elaborados por combinaciones algébricas de dos o más bandas, generalmente utilizan la banda del rojo y del infrarrojo cercano. De acuerdo con Jensen (2009) el uso de estas bandas es explicado debido a la vegetación sana absorber más energía electromagnética en la banda del rojo en función de los pigmentos de clorofila, y reflejar más en la banda del infrarrojo debido a la estructura celular de la planta.

Uno de los índices de vegetación más utilizados es el NDVI (*Normalized Difference Vegetation*). La importancia de éste encuentra-se en dos aspectos (JENSEN, 2009): el monitoreo de cambios estacionales y interanuales de la actividad y del desarrollo de la vegetación y en la reducción de ruidos, como sombras y nubes, variaciones topográficas y diferencias de iluminación solar, por medio de la razón. Entretanto, el NDVI es sensible a la influencia atmosférica, y puede tener su valor aumentado o disminuido dependiendo de las condiciones de la atmosfera en la adquisición de la imagen (HOLBEN, 1986).

Los valores físicos comúnmente derivados de números digitales (ND) son: radiancia y reflectancia. La radiancia representa la energía solar que refleja cada píxel, por unidad de área, tiempo, longitud de onda y ángulo sólido, medido por satélite (BASTIAANSEN et al., 2002). Los índices de vegetación pueden ser calculados con datos de valores de radiancia, reflectancia o directamente de los ND de las imágenes. Entretanto, utilizando los ND, la distinción entre tipos y/o condiciones de vegetación es obtenida en termos relativos.

Para la conversión de datos brutos de imágenes (ND) en valores de reflectancia aparente son utilizadas técnicas de tratamiento digital de imágenes y algebra de mapas disponibles en software gratuito como el SPRING (Sistema de Procesamiento de Informaciones Georeferenciadas), desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE).

El estudio he llevado a cabo el análisis del comportamiento espectral de la vegetación utilizando el índice NDVI en plantaciones de *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus urograndis* haciendo un comparativo entre la obtención utilizando ND y reflectancia aparente.

Material y Métodos

Área de estudio

La imagen utilizada para el estudio fue del satélite Landsat 5, sensor TM, órbita/punto 224/81 del día 17 de octubre de 2011. Los datos recubren el municipio de Alegrete en el estado de Rio Grande do Sul en Brasil. La imagen fue obtenida gratuitamente junto el INPE. En ésta fue seleccionada un área de estudio menor que pertenece a una empresa forestal de la región. La imagen trabajada contempla plantaciones de dos especies de *Eucalyptus*, con edad de 5 y 4,2 años respectivamente, y otros usos que no son el enfoque del estudio (Figura 1).

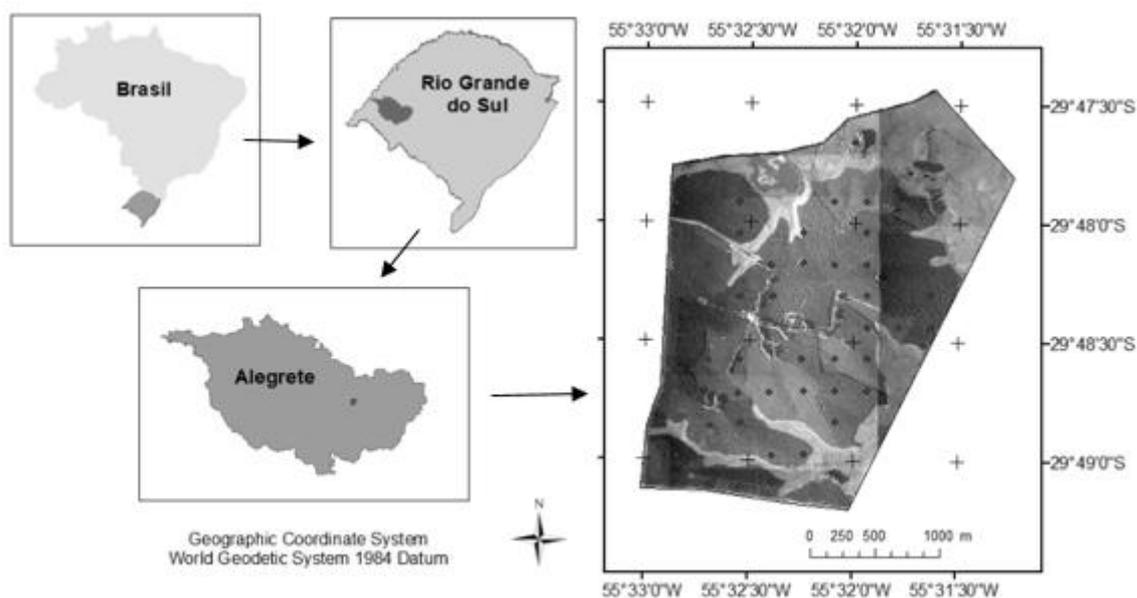


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

La georreferenciación fue hecha utilizando puntos de control en imagen georreferenciada y ortorretificada del sensor TM + Landsat órbita/punto 224/81 de 06/03/2005, obtenida junto al Global Land Cover Facility (2012). El ajustamiento fue hecho por medio de polinomio de primero grado y el remuestreo por el método de interpolación bilineal en el *software* SPRING (CAMARA et al., 1996).

Conversión de números digitales en valores físicos de reflectancia

La intensidad de energía electromagnética o emitida por objetos y mensurada por el sensor es registrada en ND o niveles de gris, son secuencias de de dígitos binarios conocidos como *bits*, compatibles con el procesado de las computadoras. Entretanto, estos valores no son directamente comparables entre diferentes sensores debido a las diferencias en la calibración. Además de esto, la comparación o combinación

de imágenes tomadas en datas diferentes necesita de corrección para los diferentes ángulos de iluminación solar en que las imágenes fueron obtenidas (ROBINOVE, 1982)

Los valores físicos comúnmente derivados de los números digitales son: la radiancia y la reflectancia. La calibración radiométrica de sensores contempla el reescalado de los números digitales brutos (Q) transmitidos por el satélite para números digitales calibrados (Qcal), los cuales poseen la misma escala radiométrica para todas las cenas procesadas en tierra para un período específico (CHANDER et. al., 2009)

La conversión de cada *pixel* para radiancia bidireccional aparente fue realizada según la ecuación propuesta por Markham & Baker (1986):

$$L_{\lambda} = LMIN_{\lambda} + \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX}\right) Qcal \quad (1)$$

Donde L_{λ} es la radiancia incidente en el sensor [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$], $Lmin_{\lambda}$ y $Lmax_{\lambda}$ son las radiancias mínima y máxima del sensor [$(W/m^2.sr.\mu m)$], $Qcal$ es el número digital que será convertido y $Qcalmax$ es el número digital máximo (dependiente de la resolución radiométrica del sensor).

La conversión de valores de radiancia bidireccional aparente para valores de reflectancia aparente puede ser hecha utilizando la ecuación 2 descrita por Markham e Barker (1986):

$$\rho_a = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta} \quad (2)$$

Donde ρ_a es el Factor de reflectancia bidireccional (FRB) aparente o reflectancia planetaria en el ápice de la atmosfera, π es la constante matemática igual a 3,14159, L_{λ} es la radiancia espectral que llega al sensor [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$], d es la distancia Sol - Tierra en unidades astronómicas, $ESUN_{\lambda}$ es la irradiancia solar estratosférica media [$W/(m^2 \mu m)$] y θ el ángulo zenital solar, en grados.

Para conversión de ND para valores de radiancia y reflectancia fueron utilizados los parámetros asociados al sensor TM/Landsat 5 (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de calibración radiométrica del sensor TM/Landsat 5 con la radiancia mínima ($Lmin_{\lambda}$) y máxima ($Lmax_{\lambda}$) e irradiancia solar estratosférica media ($ESUN_{\lambda}$).

Banda	$L_{min\lambda}$	$L_{max\lambda}$	$ESUN_{\lambda}$
Unidades	W/m²sr	W/m²sr	W/m²
3	-1,17	264	1554
4	-1,51	221	1036

Fuente: landsat.usgs.gov/science_L5_cpf.php

En la programación LEGAL (Lenguaje Espacial para Geoprocetamiento Algébrico), asociado al *software* SPRING (CAMARA et al., 1996), fueron implementadas diversas sentencias que describieron los procedimientos de conversión de ND para reflectancia.

Índice de vegetación - NDVI

El NDVI (Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada) involucra las frecuencias de radiación electromagnéticas en la faja del rojo y infrarrojo cercano y posee la propiedad de cambiar entre -1 y + 1 (cuanto más cercano de 1, más grande es la densidad de la vegetación), el cero representa el valor aproximado para la ausencia de vegetación (EPIPHANIO et al., 1996). El NDVI fue propuesto por Rouse et al (1973) y es calculado por medio de la Ecuación 3.

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (3)$$

Donde:

IVP = región espectral del infrarrojo cercano

V = región espectral del rojo

La programación LEGAL fue utilizada para el procesamiento automático del índice de vegetación NDVI para ND y para valores físicos. Fue hecha una clasificación en cinco clases (colores). La primera clase de NDVI contempla las vegetaciones de baja densidad, o sea, no son plantaciones forestales, entonces no existe la necesidad de subdividir en más clases. Las demás clases fueron divididas utilizando como parámetro observaciones del índice para el blanco deseado en los datos de NDVI obtenidos de ND y valores físicos de forma independiente.

Resultados y Discusión

Después de la ejecución del análisis LEGAL, fue realizado en SPRING una comparación entre valores obtenidos con el cálculo del NDVI utilizando los datos de ND y de reflectancia. Las respuestas de dos especies forestales, *E. dunnii* y *E. urograndis*, fueron analizadas.

Las diferencias visuales entre las imágenes generadas por los diferentes métodos son presentadas en la Figuras 2. Los círculos y rectángulos dibujados indican una región donde fueron analizados algunos valores de *pixel* en área de plantaciones de *E. dunnii* y *E. urograndis*, respectivamente. El muestreo de algunos píxeles de los círculos de la Figura 2 son presentados en las Tablas 2 y 3.

Es posible verificar la diferencia existente entre los valores del NDVI utilizando datos de ND en relación a los valores del NDVI utilizando las reflectancias.

(A)

(B)

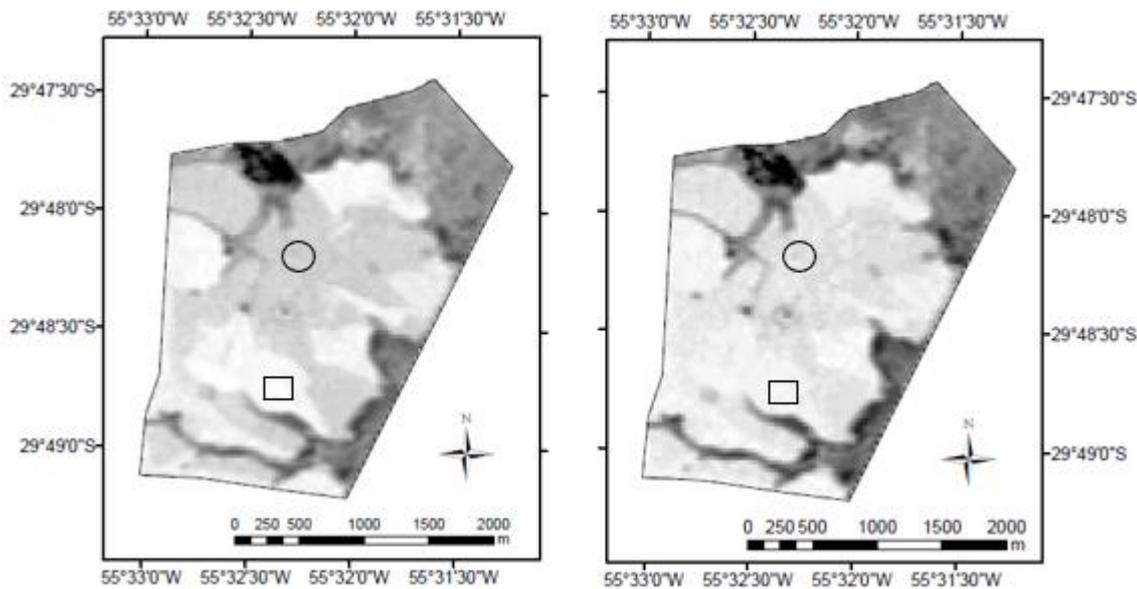


Figura 2. Imágenes del NDVI obtenido utilizando el ND (A) y utilizando las reflectancias (B) en rodales de *E. dunnii*, en círculo y *E. urograndis*, en rectángulo.

Tabla 2. Valores de *pixel* del NDVI generados utilizando el ND y obtenidos utilizando la reflectancia en rodales de *E. dunnii*.

Linha	Coluna	NDVI	
		ND	Reflectância
80	202	0.595238	0.850324
81	203	0.585366	0.845382
80	204	0.590361	0.847862
82	204	0.585366	0.845382

Tabla 3. Valores de *pixel* del NDVI generados utilizando el ND y obtenidos utilizando la reflectancia en rodales de *E. urograndis*.

Linha	Coluna	NDVI	
		ND	Reflectância
111	185	0.701754	0.901126
113	187	0.709402	0.904255
113	186	0.704348	0.902200
112	186	0.706897	0.903226

Los valores de NDVI son más grandes utilizando los valores de reflectancia para las dos especies analizadas cuando se hace la comparación con los valores obtenidos utilizando el ND. Resultados similares fueron encontrados por Chaves et al (2013), que analizaron tres tipos de datos para generación del NDVI:

datos de reflectancia aparente, datos en valores absoluto (ND) y datos convertidos para reflectancia en superficie. Todos se difieren, pero el NDVI de reflectancia de superficie (con corrección atmosférica) presenta valores siempre más grandes cuando comparado con los demás.

Ponzoni y Santos (2008) destacan que el principal objetivo de la conversión de ND para valores de reflectancia de los *pixels* es la caracterización espectral de los objetos presentes en la cena, sea en un determinado momento en el tiempo (pasaje único), o en diferentes momentos (diferentes pasajes) o aun cuando se utilizan datos de diferentes sensores igualmente desfasados en el tiempo. Entretanto, es importante hacer corrección atmosférica cuando se trabaja con diferentes pasajes del mismo sensor o de sensores diferentes. Este trabajo utilizó solamente un pasaje y para el cumplimiento de los objetivos no se hizo necesario hacer correcciones atmosféricas.

Los índices de vegetación, además de otros objetivos, resaltan la respuesta espectral de la vegetación con relación al suelo y otros blancos de la superficie terrestre debido al comportamiento antagónico de la reflectancia de la vegetación en las regiones espectrales del infrarrojo cercano y del visible (PONZONI y SHIMABUKURO, 2007). Ésta información es evidente cuando son observadas las Figuras 3 y 4, que representan la cena en clases de NDVI generados por ND y reflectancias, respectivamente.

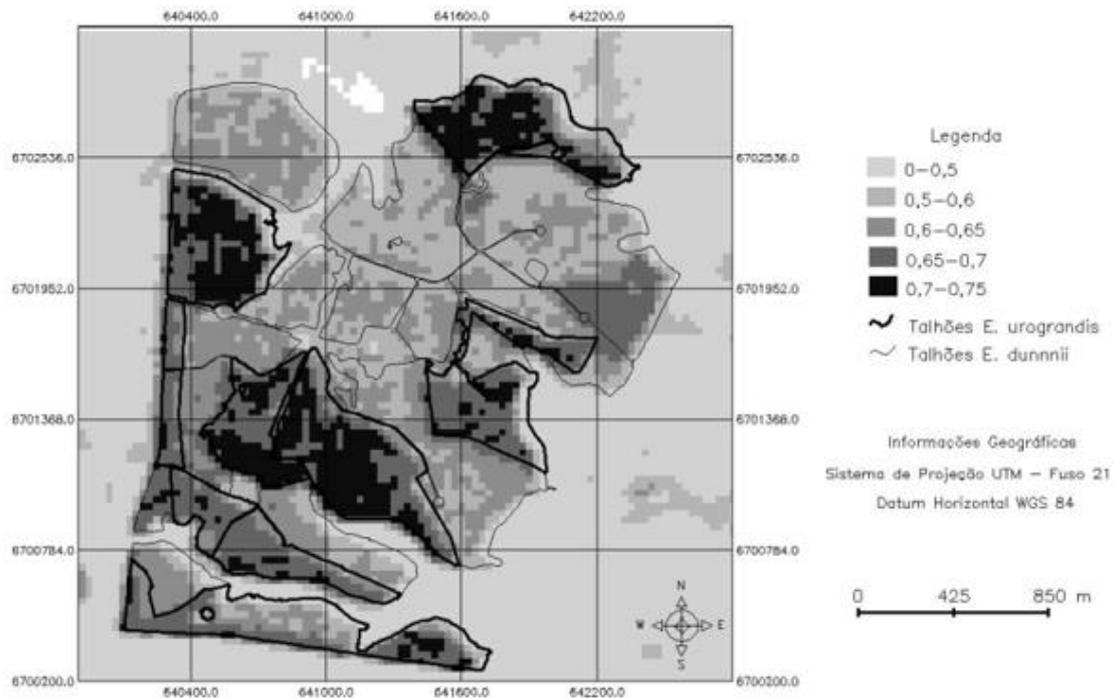


Figura 3. Fracción de los valores de NDVI generados a partir de los ND.

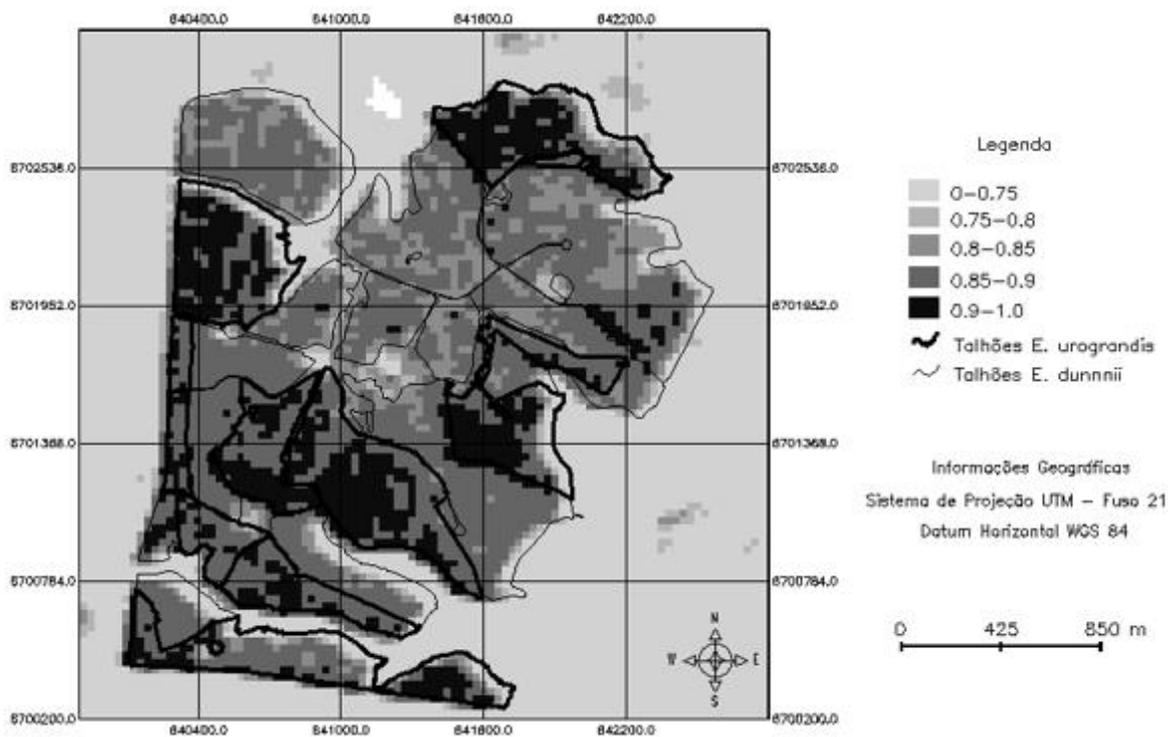


Figura 4. Fracción de los valores de NDVI generados a partir de los valores de reflectancia.

Nas figuras 3 y 4 es posible percibir la diferencia entre las tonalidades de gris del NDVI para las dos especies en estudio. El *Eucalyptus dunni* presenta tonos de gris más claro mientras el *Eucalyptus urograndis* presenta tonos de gris más oscuro. Esto demuestra que las dos especies forestales son fácilmente separables utilizando herramientas de teledetección.

Los valores más grandes de NDVI corresponden a los ND más elevados, están relacionados a los áreas de vegetación con mayor vigor. Mientras los valores más pequeños corresponden a los ND más bajos, Están relacionados a los áreas de vegetación con estrese o desnudos.

Haciendo un análisis comparativo entre las dos especies estudiadas, los valores más grandes de NDVI ocurren en rodales de *E. urograndis*. De acuerdo con Esquerdo (2007), valores altos de NDVI están asociados con altas densidades de vegetación sana. Esto porque la vegetación fotosintéticamente activa absorbe la mayor parte de la luz visible y menos luz infrarroja. Así, valores de NDVI están directamente asociados al mayor vigor y densidad de la cobertura forestal.

Los datos de los NDVI, a priori, son una herramienta importante para la distinción entre especies forestales y años de plantación.

Conclusiones

El índice NDVI generado con datos de reflectancia presentó valores de mayor magnitud cuando comparado a los generados con los valores de ND brutos, sin corrección atmosférica. Este comportamiento se observó tanto para *E. dunni* como para *E. urograndis*. Sin embargo, se resalta que la utilización de una metodología u otra depende de la finalidad del estudio.

Para la comparación y diferenciación de las especies estudiadas, las dos formas de obtención de NDVI fueron eficaces. En los dos métodos evaluados, el *E. dunnii* presentó tonos de gris más claros mientras que el *E. urograndis* presentó tonos de gris más oscuros, estando este asociado a valores mayores de NDVI y, por lo tanto, mayor vigor vegetativo. Para comprender mejor la razón de este comportamiento, se deben realizar investigaciones explorando la fisiología de cada especie, así como el comportamiento espectral.

Referencias

BASTIAANSEN, W. et al. **SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advanced Training and Users Manual**. Idaho: Idaho Department of Water Resources, 2002. 98p.

CAMARA, G. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CHAVES, M.E.D. et al. Análise comparativa do NDVI estimado a partir de valores de níveis digitais originais e de reflectâncias aparente e de superfície. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO; 2013; Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE; 2013. p. 8261-8268.

CHANDER, G. et al. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113, p. 893–903, 2009.

EPIPHANIO, J.C.N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESQUERDO, J.C.D.M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. Campinas: UNICAMP, 2007. 186 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

GLOBAL LAND COVER FACILITY. Global Land Cover Facility [home page]. Available at: <<http://glcf.umd.edu/index.shtml>>. Acesso en: Dec. 2012.

HOLBEN, B.N. Characterization of maximum value composites from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.

IBÁ –Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 1 ed. São José dos Campos: Parêntese; 2009. 604 p.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures. **EOSAT Landsat Technical Notes**, n. 1, 1986.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Landsat 5 (L5) Thematic Mapper (TM) calibration parameter files (CPFs). Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/science_L5_cpf.php>.

PONZONI, F.J.; DOS SANTOS, S.B. Conversão de números digitais de imagens orbitais em valores de FRB de superfície. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 4, p. 541-556, 2008.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 1 ed. São Paulo: Parêntese; 2007. 144 p.

ROBINOVE, C.J. Computation with physical values from Landsat digital data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 48, n. 5, p. 781-784, 1982.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In **THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM**, 3, 1973; Washington, USA. **Anais...** Washington: NASA, 1973. p.309-317.