CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL E NDVI DE ESPÉCIES FLORESTAIS DAS FAMÍLIAS FABACEAE, MYRTACEAE, RUTACEAE E SALICACEAE

Pâmela Suélen Käfer¹, Franciel Eduardo Rex², Marcos Santos³, Elódio Sebem⁴

1 Acadêmica de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (pamelaskafer@gmail.com), Frederico Westphalen, RS, Brasil

2 Acadêmico de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria

3 Acadêmico de Geoprocessamento do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria

4 Professor Doutor da Coordenadoria do Ensino Médio e Tecnológico do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria

Recebido em: 08/04/2016 – Aprovado em: 30/05/2016 – Publicado em: 20/06/2016

DOI: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_024

RESUMO

Através das técnicas de espectrorradiometria, este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização espectral de três espécies vegetais de quatro famílias botânicas: Fabaceae, Myrtaceae, Rutaceae e Salicaceae, utilizando o órgão folha para obter as medidas de reflectância, considerando a região do visível e do infravermelho próximo. A área de estudo compreendeu o Jardim Botânico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria, RS. Foram obtidas cinco medidas de resposta espectral, entre 325 e 1075nm, de cada face (superior e inferior) de cinco folhas de cada espécie. O espectrorradiômetro demonstrou-se eficaz na caracterização espectral das famílias botânicas. O comportamento espectral exibido pelas folhas revelou-se semelhante para as famílias, tendo assim provável relação com a família botânica, com exceção da família botânica Salicaceae, que demonstrou comportamento diferenciado. O NDVI atuou como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde e, para a família Salicaceae, foram encontradas diferenças espectrais nos NDVIs de todas as espécies em estudo. Os valores de NDVI variaram em um intervalo de 0,5792 (Fabaceae) à 0,8132 (Myrtaceae).

PALAVRAS-CHAVE: Assinatura Espectral, Famílias botânicas, Reflectância.

SPECTRAL CHARACTERIZATION AND NDVI OF FOREST SPECIES OF THE FABACEAE, MYRTACEAE, RUTACEAE AND SALICACEAE FAMILIES.

ABSTRACT

Through the spectroradiometry techniques this paper aims to make the spectral characterization of three plant species, from four botanical families: Fabaceae, Myrtaceae, Rutaceae e Salicaceae, using the leaf organ to obtain the reflectance measurements, considering the visible region and the near infrared. The study area includes the Federal University of Santa Maria (UFSM) Botanical Garden, in Santa Maria, RS. Five measurements spectral response were obtained between 325 and 1075nm, from each side (top and bottom) of five sheets of each species. The

spectroradiometer shown to be effective in the spectral characterization of the botanical families. The spectral behavior exhibited by the leaves revealed similar to the families, thus probable relationship to its botanical family, with the exception of the botanical family Salicaceae, which showed different behavior. The NDVI served as a quantity's sensitive indicator and the green vegetation condition and, for the Salicaceae family, were found spectral differences on NDVIs of all species under study. The NDVI values varied in a range of 0.5792 (Fabaceae) to 0.8132 (Myrtaceae).

KEYWORDS: Spectral signature, Reflectance, Botanical families.

INTRODUÇÃO

Os estudos ambientais que utilizam técnicas que consideram a interação da energia eletromagnética com os alvos são de grande relevância e importância, visto que, a partir dos dados gerados é possível obter diversos tipos de informações, como distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros (TRENTIN, 2011). Nesse sentido, os dados de Sensoriamento Remoto constituem ferramentas essenciais na coleta e análises de informações acerca da vegetação, dando suporte em planejamento de ações futuras que auxiliem na conservação e preservação (OTANÁSIO, 2014).

A identificação de padrões de respostas fisiológicas das espécies, que são refletidos no comportamento espectral, poderá sugerir/indicar estratégias que possibilitem a permanência da espécie no ambiente (PETCHEY & GASTON, 2006). Nesse sentido a folha é o principal órgão absorvedor da radiação eletromagnética e a medição dessa energia absorvida, transmitida e/ou refletida pode ser obtida por diversos tipos de sensores. A arquitetura deste órgão exerce função estratégica na absorção de energia eletromagnética e na produção fotossintética. Nesse contexto, PONZONI et al. (2012) afirmam que o comportamento espectral da vegetação no espectro eletromagnético, compreendida entre a região do visível e do infravermelho, resulta em uma curva de reflectância característica.

As estruturas das células que compõem os tecidos das folhas são muito variáveis, dependendo da espécie e das condições ambientais (JENSEN, 2009). Assim, PONZONI et al. (2012) explicam que, desde que as características da folha sejam geneticamente controladas existirão, portanto, diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente distintos. Na botânica, o conjunto de plantas que possuem semelhanças entre si, pertence a uma mesma família botânica. Sendo assim, é provável que espécies de uma mesma família apresentem semelhanças quanto ao comportamento espectral.

Os índices de vegetação são uma forma de ressaltar o comportamento espectral da vegetação. Estes podem ser obtidos por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da energia eletromagnética (eem), principalmente em duas faixas específicas de comprimento de onda: visível (350-700nm) e infravermelho próximo (730-1.100nm). Essas reflectâncias, por vezes, são medidas por diversos aparelhos como, por exemplo, os espectrorradiômetros.

Caracterização das espécies florestais estudadas

A família Myrtaceae compreende cerca de 5.000 espécies de árvores e arbustos. Caracteriza-se por folhas simples, opostas; inteiras, penínervas, com pontuações translúcidas. Esta família também possui estames muito numerosos, livres ou soldados

em quatro a cinco grupos (AGUIAR, 2013c). A família *Fabaceae* é uma família muito grande, com mais de 14.000 sp. É a terceira família mais numerosa dentre as angiospermas. A fisionomia inclui espécies de hábitos variados, como arbustos, subarbustos, lianas e árvores, que habitam diferentes ambientes. Caracteriza-se por apresentar folhas geralmente compostas, podendo ocorrer folhas simples, pinadas, bipinadas, trifoliales ou digitadas, com estípulas que às vezes se transformam em espinhos, alternas e ocasionalmente opostas (AGUIAR, 2013b).

A família *Rutaceae* é uma família de média dimensão, possuindo aproximadamente 1.800 espécies. Caracterizada por ser uma família de árvores e arbustos aromáticos. Possui folhas alternas, raramente opostas, simples ou compostas; a principal característica é a presença de pontos translúcidos na lâmina foliar. Acúleos podem ser encontrados no caule ou nas folhas (AGUIAR, 2013d). A família *Salicaceae* inclui árvores ou arbustos, geralmente dioicos, de ramos flexíveis. As folhas apresentam-se basicamente caducas, alternas e simples. Inclui cerca de 50 gêneros e 1.000 espécies (AGUIAR, 2013a).

O objetivo deste estudo foi realizar a caracterização espectral de quatro famílias botânicas (*Fabaceae*, *Myrtaceae*, *Rutaceae* e *Salicaceae*) representadas por três espécies florestais em cada família, que foram selecionadas no acervo do Jardim Botânico da UFSM em Santa Maria, RS. Esta caracterização espectral pretende servir como ferramenta auxiliar a engenheiros florestais em estudos dendrológicos em campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram utilizadas como fonte de coleta de dados quatro famílias botânicas: *Fabaceae*, *Myrtaceae*, *Rutaceae* e *Salicaceae*, as espécies selecionadas para este trabalho encontram-se na Tabela 1. Os dados foram coletados no dia 12 de janeiro de 2016. Foram escolhidas três espécies por família botânica e, em cada espécie, foram medidas cinco folhas na face superior e inferior, totalizando 10 medições por planta.

QUADRO 1 -Lista das espécies e respectivas famílias botânicas, utilizadas para a coleta de dados.

Família	Nome científico	Nome comum
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Araçá
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitangueira
	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cerejeira
Fabaceae	<i>Caesalpinia leiostachya</i> (Benth.)	Pau-Ferro
	<i>Senna multijuga</i> (Rich.)	Pau-Cigarra
	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula
Rutaceae	<i>Citrus limonia</i> Osbeck	Limoeiro
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Laranjeira
	<i>Citrus aurantium</i> L.	Bergamoteira
Salicaceae	<i>Populus alba</i> L.	Álamo-Branco
	<i>Populus nigra</i> L.	Álamo-Negro
	<i>Casearia sylvestris</i> Swartz	Guaçantuba

Fonte: Adaptado de LORENZI, (2002).

Os dados foram coletados no Jardim Botânico, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no município de Santa Maria - RS (Figura 1). O município de Santa Maria encontra-se na região fisiográfica da depressão central do estado do Rio Grande do Sul (Brasil), localizado nas coordenadas geográficas 29°40'31"S e 53°54'45"W de Greenwich, com altitude média de 130 metros.

FIGURA 1-Mapa de localização da área de estudo. (Adaptado de: USGS, Landsat 8, 2015 e Google Earth; Autoria: Käfer, 2016).

Segundo a classificação climática de Köppen, a área de estudo localiza-se em uma região de clima do tipo “Cfa”, subtropical úmido, tendo como características climáticas principais a temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1.769 mm (WREGE et al., 2011). Para a obtenção das medidas de refletância, foi utilizado o Espectrorradiômetro *FieldSpec HandHeld 2*, que opera na faixa espectral contínua de 325 a 1.075 nm, do eem, com um intervalo de 1 nm, desta forma operando desde a região do visível até o infravermelho próximo. O espectrorradiômetro foi otimizado, tendo sido calibrando manualmente.

Posteriormente foi realizado o processamento dos dados, no Laboratório de Geomática do Colégio Politécnico da UFSM. Foram obtidas as medidas de radiância refletida da face superior e inferior das folhas para todas as coletas. Em um computador conectado ao espectrorradiômetro, as medidas foram armazenadas e, em seguida, os

dados foram convertidos para o formato texto com o uso do software ASD ViewSpecPro. Após, os dados foram transferidos para o software Libre Office Calc, onde foi possível gerar as curvas espectrais para cada família botânica.

Para a confecção dos gráficos das assinaturas espectrais foram levados em consideração os comprimentos de onda que são utilizados pelo satélite *Landsat 8* (USGS, 2014). Assim, os ruídos causados pela umidade foram eliminados dos perfis espectrais na região do azul abaixo de 450 nm, e na região do infravermelho próximo acima de 880 nm.

Após gerar as curvas espectrais para cada espécie dentro das famílias botânicas foram selecionados os dados de comprimento de onda do vermelho (640 à 670 nm) e infravermelho próximo (850 à 880 nm) para a obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, como se segue:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Onde: IVP: valor da reflectância da banda no infravermelho próximo;

V: valor de reflectância da banda no vermelho.

Com a obtenção dos resultados do NDVI para cada espécie e família botânica, os dados foram submetidos a uma estatística descritiva para análise comparativa dos dados. Desta forma os mesmos foram processados no software ASSISTAT, onde realizou-se o teste de médias de Tukey (95% de confiança).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Espectral das Espécies

Na figura 2, pode ser observada a resposta espectral obtida para a família Myrtaceae, sendo demonstrados os valores médios de reflectância das espécies: Araçá, Pitangueira e Cerejeira ao longo do espectro eletromagnético. De forma geral, a resposta espectral das três espécies apresentou um padrão que pode ser caracterizado pela baixa reflectância na região do azul e do vermelho, e elevada na região do verde. Assim, é evidenciado que o comportamento espectral das espécies desta família se assemelham com o comportamento espectral característico de folhas saudáveis.

FIGURA 2 - Resposta espectral das espécies da família botânica Myrtaceae (Autoria: Käfer, 2016).

Observou-se nos perfis da Figura 2 que o Araçá apresentou menor reflectância do que as outras duas espécies estudadas, tanto na faixa do visível, quanto na faixa do infravermelho próximo, ou seja, houve maior absorção de radiação por esta espécie do que as outras. A maior absorbância na faixa do azul pode estar relacionada, segundo CASSOL & GOMEZ (2013), à presença de carotenóides, cujos picos de absorção situam-se nesta faixa de comprimento. Ainda pôde-se observar que a reflectância segue a mesma tendência para ambos os lados da folha (face superior e face inferior), no entanto, na face inferior picos mais evidentes são observados, certamente isso ocorreu pela ligeira diferença na distribuição de pigmentos da folha. Nesse sentido, NAUE et al. (2011) explicam que pelo fato de as características dos pigmentos das folhas serem diferentes, a absorção da radiação é mais acentuada nos comprimentos de onda de 480 nm do azul (clorofila "b") e 680 nm do vermelho (clorofila "a"), passando por uma absorção mais baixa entre 540 nm a 620 nm, que corresponde ao verde. Ressalta-se que a maior reflectância da espécie Pitangueira na região do verde, em ambos os lados da folha, provavelmente é explicada pela condição de pigmentação da espécie, que é semelhante nas duas faces.

De modo geral, a espécie Pitangueira revelou reflectância significativamente maior que as outras na faixa do visível, tendo a menor absorbância na banda do vermelho e azul. Resultado que se repete em ambos os lados da folha e pode estar relacionado com a quantidade de clorofila existente, visto que segundo o estudo de CASSOL & GOMEZ (2013), quanto menor a absorbância na faixa do vermelho, menor é a concentração de clorofila total. Já quando levada em consideração a faixa do infravermelho, a mesma espécie exibiu reflectância similar à apresentada pelo Araçá, o que demonstra claramente que a estrutura e o arranjo celular diferenciado de cada espécie ocasiona uma resposta espectral singular para cada estrutura foliar nesta porção do espectro eletromagnético.

Quanto à espécie Cerejeira, essa demonstra reflectância maior que as outras na região do infravermelho próximo, esse fato provavelmente se deve à estrutura celular da folha, como anteriormente citado e explicado por JENSEN (2009) e PONZONI et al.

(2012), como influência significativa nesta faixa do espectro. É importante ressaltar que no mesófilo foliar, a energia é espalhada em virtude das interações da radiação com as paredes celulares hidratadas, o que origina múltiplas reflexões e refrações e propicia melhor absorção da radiação pelos pigmentos.

A família Fabaceae (Figura 3) exibiu diferenças nas respostas espectrais das espécies estudadas, quando comparadas entre si. Ao observar a curva espectral da face superior da folha, as espécies demonstram na região do verde os maiores valores de reflectância das espécies na seguinte ordem: Pau-ferro, seguida pela espécie Pau-Cigarra e Canafístula. Nesse contexto, a espécie Canafístula se destacou por apresentar alta absorção de radiação eletromagnética na região do visível (450 a 670 nm), com o pico de reflectância elevado característico no comprimento de onda verde (530 a 590 nm) um pouco menos evidente do que as outras espécies, o que revela uma significativa influência dos pigmentos fotossintetizantes, em especial, as clorofilas, carotenóides e antocianinas e que pode ainda ser relacionado com outras variáveis de análise. Quanto à face inferior, embora as curvas espectrais sigam o mesmo padrão das curvas da face superior, as diferenças na região do visível são mais evidentes, demonstrando o mesmo padrão de relação face superior/inferior identificado na família analisada anteriormente (Myrtaceae), entretanto, a ordem de reflectância se inverte para as duas primeiras, sendo: Pau-cigarra, Pau-ferro e Canafístula. Ressalta-se que as diferenças quanto à face superior e inferior provavelmente são atribuídas às estruturas internas e à pigmentação. Visto que, segundo PONZONI et al., (2012) o comportamento espectral de uma folha é função da composição, morfologia e estrutura interna.

FIGURA 3 Resposta espectral da família botânica Fabaceae (Autoria: Käfer, 2016).

Segundo CARRIELO et al. (2003), o número de camadas de células existente no parênquima clorofiliano também influenciará na reflectância foliar, já que no mesófilo existem múltiplas reflexões e refrações da luz, em consequência das discontinuidades entre os índices de refração nos espaços intercelulares e nas paredes celulares, onde, quanto maior o número de camadas celulares, menor a reflectância. Quanto ao infravermelho próximo, observa-se que ambas as faces da folha coincidiram na ordem de reflectância das espécies, havendo, no entanto, ligeiro aumento da reflectância da espécie Pau-Cigarra na face inferior da folha, em relação às reflectâncias da face

superior. Ressalta-se que as espécies estudadas nas famílias Myrtaceae (Figura 2) e Fabaceae (Figura 3), demonstraram no infravermelho próximo respostas espectrais semelhantes, como pode ser visto nos perfis, as curvas nesta região concentram-se em um pequeno intervalo. Esse resultado sugere que as espécies estudadas representaram certa homogeneidade que pode ser característica das famílias botânicas, entretanto ressalta-se a necessidade de outros estudos com mais espécies da família, para a obtenção de resultados mais consistentes.

A resposta espectral para as espécies da família Rutaceae (Figura 4), de modo geral apresentou uma tendência de comportamento que seguiu as anteriores, caracterizada pela baixa reflectância na região do azul (450 a 510 nm) e do vermelho (640 a 610 nm) e elevados picos de energia refletida na região do verde (530 a 590 nm), seguindo a mesma tendência em ambas as faces da folha. Com relação às espécies, nota-se que tanto na face superior da folha, quanto na inferior, na faixa do visível, o Limoeiro foi a espécie que apresentou o menor valor de reflectância, desta forma destacando-se por apresentar maior absorção na região do visível, exibindo picos menos evidentes na face superior, concordando com os padrões obtidos nas famílias anteriores.

Na região do infravermelho, os valores de reflectância do Limoeiro também foram os menores obtidos para a família Rutaceae. Um aspecto importante, é que as folhas da espécie Limoeiro apresentam uma característica no espectro de folhas saudáveis, JENSEN (2009), em estudos com folhas de *Liquidambar styraciflua* L., observou-se que nas folhas verdes saudáveis a reflectância observada apresentou 6% na região do azul e do vermelho, além de um pico no verde de 11%. Valores estes que são semelhantes aos encontrados para a espécie Limoeiro neste estudo.

FIGURA 4 Resposta espectral da família botânica Rutaceae (Autoria: Käfer, 2016).

Na faixa do visível, nota-se que a Laranjeira foi a espécie que demonstrou maior reflectância e menor absorbância, principalmente na região do verde, enquanto que o Limoeiro apresentou menor reflectância na região do visível em relação às outras espécies. Na região do infravermelho próximo, embora as reflectâncias das espécies tenham seguido padrões parecidos, as maiores reflectâncias foram encontradas para a espécie Bergamoteira, seguida pela Laranjeira e o Limoeiro. Enquanto que na região do

visível, as maiores reflectâncias foram da espécie Laranjeira, seguida pela Bergamoteira e Limoeiro.

De modo geral, para as espécies em questão, da família Rutaceae, o comportamento espectral foi muito semelhante, exceto pela diferença um pouco maior do Limoeiro que, embora tenha seguido a mesma tendência, demonstrou menores valores de reflectância. Dessa forma, as duas espécies que se mostraram mais parecidas espectralmente foram a Bergamoteira e a Laranjeira. Mesmo com a pequena diferença do limoeiro pode-se dizer que as três espécies exibiram um padrão de comportamento semelhante, podendo ter relação com o fato de pertencerem à mesma família, no entanto os perfis de mais espécies desta família devem ser avaliados.

Em relação às espécies da família Salicaceae (Figura 5), pôde-se observar que esta família apresentou resultados diferentes das demais famílias deste estudo, que se tornam evidentes principalmente em relação ao lado inferior da folha. A diferença mais significativa que pode ser visualizada nos perfis está relacionada aos picos de radiação da região do visível, que se tornam quase nulos em algumas espécies. Outra diferença relevante é com relação ao infravermelho próximo, que se apresenta em ascendência para a região do eem em estudo.

FIGURA 5 Resposta espectral da família botânica Salicaceae (Autoria Käfer, 2016).

A espécie Álamo Branco apresentou uma baixa reflectância na região do visível na face superior da folha e um elevado valor de reflectância na face inferior, chegando a 45% de reflectância nessa face, na faixa do visível. Esse resultado indica que há grande diferença na estrutura foliar quando comparadas as faces superior e inferior da folha da espécie Álamo Branco. Nota-se também que esta espécie assemelha-se, na região do visível e face superior, à espécie Álamo Negro, demonstrando um comportamento espectral bem semelhante, provavelmente essa semelhança se dá devido ao fato de que as espécies compartilham o mesmo gênero botânico.

O Álamo Negro foi a espécie que exibiu os menores valores de reflectância na região do visível e do infravermelho próximo, com exceção da região do visível na face superior, onde a reflectância da Guaçatumba mostrou-se menor, demonstrando assim um comportamento espectral de baixa reflectância para essa espécie. Segundo JENSEN (2009) e SIMS & GAMON (2002), a região do infravermelho próximo, é a

região em que se observa a maior reflectância foliar, sendo o fator de maior influência, em relação à interação com a eem, a estrutura interna das folhas, caracterizada pela presença do mesófilo esponjoso, do número de interfaces ar-água, bem como o tamanho das células e organelas. Assim, o lado inferior da folha do Álamo Negro apresentou um comportamento semelhante ao do lado superior. Apenas na região do visível a espécie apresentou resultados superiores aos da face superior da folha. Já no infravermelho próximo, a espécie demonstrou a mesma tendência de menor reflectância, inclusive exibindo praticamente os mesmos valores de reflectância em ambas as faces.

Em relação à espécie Guaçatumba, foram observados os maiores valores de reflectância em relação às demais espécies desta família na região do infravermelho, em ambos os lados da folha. Neste trabalho puderam ser observados valores elevados na região do infravermelho para a espécie em questão.

Para a família Salicaceae, ficou evidente que o lado superior da folha resultou em maior uniformidade do que o inferior. As espécies Álamo Branco e Álamo Negro demonstraram-se muito semelhantes na face superior, entretanto, na face inferior exibiram grande diferença nas reflectâncias. Desse modo não há fato que comprove que as poucas semelhanças entre as espécies escolhidas possuem relação com a família botânica, assim, deve-se testar semelhanças entre perfis espectrais de mais espécies florestais da família, a fim de encontrar homogeneidades.

NDVI das Espécies Estudadas

Segundo BACKES (2010), o NDVI mostra-se como uma boa ferramenta para a detecção de mudanças na vegetação, sendo sensível às variações na estrutura da vegetação. Sendo assim, através da análise estatística demonstrada pela Tabela 1, e levando em consideração que de modo geral as espécies estudadas demonstraram-se saudáveis, pode-se observar os valores médios para cada espécie, separadas pelas respectivas famílias botânicas.

TABELA 1- Valores médios de NDVI para as espécies estudadas.

Família	Espécie	NDVI	Família	Espécie	NDVI
Myrtaceae	Araçá	0,86189 a	Fabaceae	Pau-ferro	0,54790 a
	Pitangueira	0,86778 a		Pau-cigarra	0,52281 a
	Cerejeira	0,71030 b		Canafístula	0,66692 a
Rutaceae	Limão	0,77956 a	Salicaceae	Álamo Branco	0,56910 b
	Bergamota	0,78663 a		Álamo Negro	0,72170 ab
	Laranjeira	0,75548 a		Guaçatumba	0,74932 a

Teste Tukey à 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Em relação à família Myrtaceae, houve diferença significativa entre as espécies. A Pitangueira e o Araçá foram as espécies que se revelaram estatisticamente iguais, o que não ocorreu com a espécie Cerejeira, que apresentou o menor valor médio de NDVI. Esse resultado demonstra que as espécies Araçá e Pitangueira, escolhidas para representar a família botânica Myrtaceae, possuem mais semelhanças, visto que o NDVI se mostrou estatisticamente igual. Esse resultado pode estar relacionado com a quantidade de clorofila presente na folha, pois conforme VARIANI (2011), quanto maiores forem as quantidades de clorofila que absorvem a radiação na região do vermelho, e de estruturas celulares (tecidos), que refletem o infravermelho próximo, maiores serão os valores do NDVI.

Para a família Fabaceae, não houve diferença significativa entre as espécies em estudo, ou seja, as três espécies são estatisticamente iguais nos valores de NDVI. Ainda para a mesma família foram encontrados os menores valores deste índice de vegetação dentre as famílias estudadas e esses menores valores de NDVI podem estar relacionados à vegetação com algum tipo de estresse. Quanto à família Rutaceae, as espécies em estudo revelaram-se estatisticamente iguais, porém com valores deste índice superiores ao da família Fabaceae.

Quanto à família Salicaceae os resultados foram diferentes das demais, sendo a Guaçatumba a espécie que demonstrou o maior valor médio de NDVI, seguida do Álamo Negro que foi estatisticamente diferente do Álamo Branco, sendo essa a espécie que revelou o menor valor de NDVI para esta família. Esse resultado encontrado, assim como o obtido anteriormente pelos perfis espectrais, demonstra que a família Salicaceae não foi bem caracterizada com as espécies estudadas, para se ter melhores resultados devem ser realizados estudos que utilizem mais espécies.

Conforme apresenta a Tabela 2, pôde-se observar que de modo geral a face superior da folha mostrou-se estatisticamente diferente da face inferior. Esse resultado já havia ficado visualmente explícito nos perfis espectrais estudados anteriormente. A exceção foi a família Fabaceae, pois ambas as faces revelaram-se estatisticamente iguais. Estes resultados já eram esperados, devido ao fato de que as plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo, já que na parte inferior da folha existe uma camada esponjosa, mas não fortemente no vermelho.

TABELA 2- Valores de NDVI para as famílias botânicas estudadas, nas faces superior, inferior e média.

Família	NDVI		
	Face Superior	Face Inferior	Média
Myrtaceae	0,88180 a	0,74485 b	0,81320 a
Fabaceae	0,60130 a	0,55712 a	0,57920 b
Rutaceae	0,84556 a	0,72210 b	0,77380 ab
Salicaceae	0,75540 a	0,60468 b	0,68000 ab

Teste Tukey à 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Ao analisar o conjunto das quatro famílias botânicas pôde-se observar que diferiram entre si. A família Myrtaceae exibiu o maior valor de NDVI médio, diferenciando-se das demais; na sequência as famílias Rutaceae e Salicaceae apresentaram-se estatisticamente iguais, e a família Fabaceae apresentou o menor valor médio de NDVI. Conforme FERNANDES et al. (2015) o NDVI atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde, tendo valores variando de -1 a +1, e quanto mais próximos à +1, mais fotossinteticamente ativa é a vegetação. Nesse trabalho, os valores deste índice para as quatro famílias em estudo mostram-se diferentes, variando em uma faixa de 0,5792 à 0,8132.

CONCLUSÃO

O espectrorradiômetro foi eficiente na caracterização espectral, tornando possível a identificação de semelhanças entre as espécies das famílias Myrtaceae, Fabaceae e Rutaceae. O comportamento desse equipamento associado a outras variáveis de análise pode subsidiar métodos eficazes para o estudo fisiológico de espécies florestais.

O NDVI atuou como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. As diferenças encontradas para a família Salicaceae presumem que há necessidade de testar mais espécies da família para melhor caracterizá-la.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. **Botânica para ciências agrárias e do ambiente**. In: Salicaceae. Bragança: Instituto Politécnico, cap 44, p 58-58, 2013. (a)
- AGUIAR, C. **Botânica para ciências agrárias e do ambiente**. In: Fabaceae. Bragança: Instituto Politécnico, cap 48, p 59-61, 2013. (b)
- AGUIAR, C. **Botânica para ciências agrárias e do ambiente**. In: Myrtaceae. Bragança: Instituto Politécnico, cap 55, p 69-69, 2013. (c)
- AGUIAR, C. **Botânica para ciências agrárias e do ambiente**. In: Rutaceae. Bragança: Instituto Politécnico, 2013, cap 66, p 69-69. (d)
- BACKES, K.S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor MODIS associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- CARRIELO, F.; MIRANDA, F. G.; PONZONI, F. J.; CARDOSO, P. A., MARTINS, S. P. **Uso da Transmitância na caracterização espectral de folhas verdes**. In: Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2451-2457.

CASSOL, H. L. G.; GOMEZ, A. A. **Espectrorradiometria como auxílio na diferenciação de espécies com características botânicas muito similares: *Eugenia rostrifolia* D. Legrand e *Eugenia ramboi* D. Legrand.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 3074-3081.

FERNANDES, A. T.; NUNES, G. M.; MOURA, J. M.; SANTOS, L. F. B. **Espectrorradiometria foliar na determinação de déficit hídrico em espécies de cerrado stricto sensu no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães/MT.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 17, 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7147-7154.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução da 2ª edição por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphany (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese, p. 672, 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 384 p. 2002.

NAUE, C. R.; GALVINCIO J. D.; MOURA, M. S. B.; COSTA, V. S. O. **Resposta Espectral de Espécies da Caatinga.** In: Simpósio de Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro. 2011, Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 0-6.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** São Paulo: Blücher, 2011. 387 p.

OTANÁSIO, P. N. **Utilização de dados orbitais para avaliação da integridade das Áreas de Preservação Permanentes (APP) da região administrativa de Planaltina (DF).** 2014. 45 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental)—Universidade de Brasília, Planaltina, 2014.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. **Functional diversity: back to basics and looking forward.** Ecology Letter, v. 9, p. 741–758, 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMBUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação.** São José dos Campos, SP, Oficina de Textos, 2ª edição, 176 p., 2012.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 337-354, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)>. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00010-X

TRENTIN, C. B. **Análise da resposta espectral da vegetação da área de proteção ambiental (APA) do Ibirapuitã em imagens do sensor EOS/MODIS associadas ao solo e aos elementos do clima.** 2011. 73 f., il. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Meteorologia)—Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

USGS. **Landsat Missions:** Using the USGS Landsat8 Product. U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey - NASA. Site: http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php Acesso em: 15/01/2016.

VARIANI, C. **Sensor óptico ativo como ferramenta para aplicação de nitrogênio na cultura do trigo.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WREGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JR, C.; ALMEIDA, I.R. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Embrapa Clima Temperado / Embrapa Florestas, Pelotas, RS:, 2011. 336 p.