

Espectrorradiometria foliar de espécies dominantes em um fragmento de caatinga, Pernambuco

Milena Dutra da Silva ¹
Priscila Gomes Correa ¹
Maria das Graças Santos da Chagas ¹
Gabriela Macedo Aretakis de Almeida ²
Josiclêda Domiciano Galvíncio ¹
Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel ²

¹ Universidade Federal de Pernambuco- UFPE/CFCH
Av. Prof. Moraes Rego, 1235. Cidade Universitária, Recife-PE. CEP: 50.670-901
{dutra_ms, correa_pg, mgschagas, gabiaretakis}@hotmail.com; josicleda@cnpq.br

² Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/Depto. Biologia/Área de Botânica
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife-PE. CEP: 52.171-900
pimentel@db.ufrpe.br

Abstract. The spectroradiometric analysis of the caatinga dominant species enables greater knowledge of the constituents of this severely devastated ecosystem to help policies and actions for preservation/conservation, in addition to providing knowledge and resilient character likely to set up the plant, reflected in spectral leaf. Therefore, we aimed to know the spectral response of three dominant species of the savanna. Dominant species were selected, of course laid on a piece of scrub swamp in the Madre de Deus, PE: *Croton blanchetianus*, *Caesalpinia pyramidalis* and *Mimosa* sp. Mature leaves of these species were subjected to the spectroradiometer FieldSpec HandHeld UV / VNIR (325-1075 nm) for spectral analysis, to the chlorophyll ClorofiLOG® 1030, to obtain the amount of chlorophyll and also cross-sectioned to anatomical structure analysis to standard methodology in plant anatomy. The analysis allowed the identification of the spectral behavior of the species and its association with the chlorophyll content and internal structural organization leading the identification of these species adopts different functional strategies. The spectral curves of each species reflected the effectiveness of their structural organization in the interaction with the environment to reduce the harmful effects of radiation. The higher frequency, dominance and coverage of *Croton blanchetianus* and *Mimosa* sp. appear to be facilitated by the presence of stellate multicellular trichomes and crystals (drusen), in the first, and greatest amount of intercellular spaces and crystals (monohydric), in the latest.

Palavras-chave: remote sensing, spectral behavior, chlorophyll, sensoriamento remoto, comportamento espectral, clorofila.

1. Introdução

A caatinga se destaca entre os biomas brasileiros por abranger 54% da região Nordeste e 11% do território nacional apresentando elevado potencial em recursos naturais (Leal et al., 2003; Andrade et al., 2005). Por este motivo, ela é alvo da exploração intensiva e o uso insustentável de recursos vem ocasionando a perda de quase 50% de seu território original, com 2% reduzidos apenas entre os anos de 2002 e 2008 (MMA, 2010).

O atual estado de devastação torna as áreas de caatinga remanescente susceptíveis às desordens ambientais, desertificação e mudanças climáticas globais (MMA, 2010). Esta fragilidade tem motivado pesquisadores de diversas áreas a estudar a dinâmica comportamental deste bioma, visando auxiliar políticas de preservação e/ou conservação.

O padrão de respostas morfoanatômicas/fisiológicas das espécies que constituem a flora nativa de um bioma, refletidos em seu comportamento espectral, indicará estratégias que possibilitam a sua permanência no ambiente (Bóttá-Dukát, 2005; Ricotta, 2005; Petchey e Gaston, 2006; Zarco-Tejada et al., 2004). Neste sentido, as plantas que apresentam maior dominância têm sido utilizadas como referência para a realização de estudos que visam

ampliar o entendimento do comportamento do vegetal em ambiente natural (Ackerly, 2004; Cornellissen et al. 2003).

Entre as estratégias utilizadas pelo vegetal para o sucesso no seu estabelecimento em determinado local estão aquelas relacionadas à fotossíntese. A estrutura anatômica foliar e o teor de pigmentos, sobretudo as clorofilas a e b, influenciam fortemente na quantidade e qualidade de energia produzida para a manutenção do vegetal (Larcher, 2000).

As plantas possuem órgãos com estruturação morfoanatômica específica que as tornam distintas entre si. A arquitetura foliar apresentada por diferentes espécies exerce uma função estratégica na absorção de energia luminosa e, por conseguinte, na produção fotossintética. Este comportamento também é detectado através da assinatura espectral de cada espécie isoladamente, possibilitando a sua identificação e monitoramento do seu estado fisiológico geral, através do sensoriamento remoto (Souza Filho et al., 2008, Noomen et al. 2003).

Nas últimas décadas houve um grande avanço metodológico e de tecnologias que ampliaram a acurácia da análise da vegetação através do sensoriamento remoto. Entre eles, a espectroradiometria se destaca por medir a resposta espectral através do contato direto com o alvo, representando a diminuição de interferências dos fatores ambientais presente nas leituras de outros sensores (Demarez e Gastellu-Etchegorry, 2000).

A análise da resposta espectral vegetal obtida por espectroradiometria permite que a visualização da curva de absorção, reflexão e/ou transmitância seja realizada em um grande intervalo de comprimento de onda, o qual contempla, desde a região do visível até a de microondas, colaborando para um melhor conhecimento do comportamento vegetal (Ponzoni, 2001).

Diante do exposto e da carência de estudos sobre a espectroradiometria de espécies naturalmente estabelecidas na caatinga, este trabalho objetivou analisar o comportamento espectral de três espécies dominantes em um fragmento deste tipo vegetacional em Pernambuco, Brasil: *Ceasalpinia pyramidalis* (catingueira), *Croton blanchetianus* (marmeleiro) e *Mimosa* sp. (jurema).

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

O município de Brejo da Madre de Deus está localizado na mesorregião Agreste e na microrregião do Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco (Fig. 1). Está limitado, ao norte, com Santa Cruz do Capibaribe e Taquaritinga do Norte; ao sul, com Belo Jardim, Tacaimbó e São Caetano; ao leste, com Caruaru e Toritama; e ao oeste, com Jataúba (BRASIL, 2005). A altitude aproximada da sede do município é de 627 m, sob as coordenadas 08°08'45"S e 36°22'16"W, distando 202,2 km da capital. O município apresenta vegetação de brejo e caatinga e está inserido nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (BRASIL, 2005). O clima é do tipo Tropical Semi-Árido com chuvas de verão; o período chuvoso tem início em novembro e término em abril, com precipitação média anual de 431,8 mm e; a temperatura média anual é de 22°C (BRASIL, 2005).

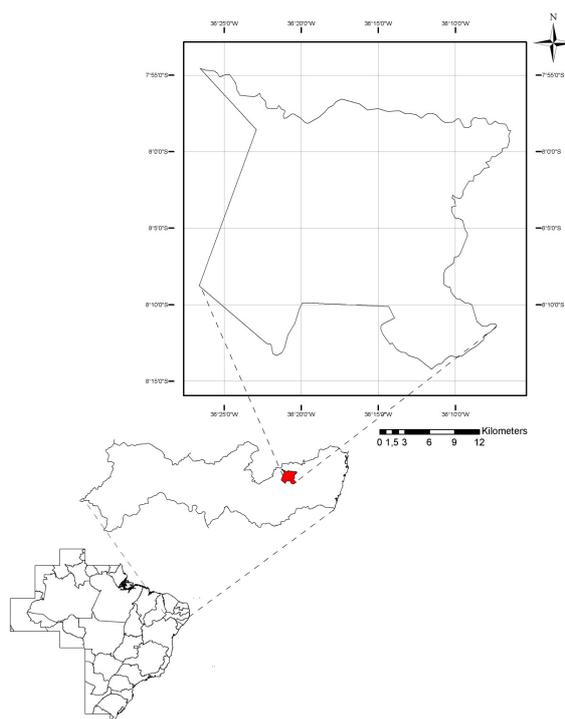


Figura 1. Localização do município de Brejo da Madre de Deus, em Pernambuco, Brasil.

2.2. Seleção de espécies vegetais

As espécies foram selecionadas em função do valor de dominância, frequência e cobertura vegetal, seguindo metodologia de Maarel (1979). Nesta seleção, também foi observada a menor distância entre os indivíduos de uma mesma espécie, visando minimizar efeitos naturais de sombreamento ou algum outro tipo de interferência na estrutura das folhas e consequências nas medidas de espectroradiometria. As espécies estão naturalmente estabelecidas em uma área de 100 m² em um fragmento de caatinga, onde se destacaram *Ceasalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Croton blanchetianus* Baill. (marmeleiro) e *Mimosa* sp. (jurema).

2.3. Espectrorradiometria

As medidas de reflectância foliar foram obtidas utilizando o espectroradiômetro *FieldSpec HandHeld model, UV/VNIR* (325 – 1075 nm). As medições foram realizadas em agosto de 2010, *in situ*, com auxílio de um *leaf clip* (acessório equivalente a uma esfera integradora) utilizando um método totalmente controlado, com incidência luminosa ortogonal e de mesma intensidade para todas as amostragens. As medições foram realizadas na região mediana de cinco folhas por indivíduo. As folhas selecionadas para a análise eram adultas, estavam mais expostas ao sol e inseridas em ramos localizados no terço médio da copa. As leituras foram processadas para obtenção da média de reflectância foliar para cada espécie.

2.4. Clorofila

Para a quantificação das clorofilas *a* e *b* de *Croton blanchetianus*, *Caesalpinia pyramidalis* e *Mimosa* sp. foi utilizado o clorofilômetro *ClorofiLOG® 1030*, seguindo metodologia usual (Falker, 2008). As medições foram realizadas, *in situ*, nas folhas selecionadas para análise espectroradiométrica, conforme descrito anteriormente.

2.5. Estrutura anatômica foliar

A descrição e análise da organização interna das folhas foram realizadas no Laboratório de Fitomorfologia Funcional (LAFF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As amostras foram fixadas em FAA 50, seccionadas transversalmente, à mão livre, com o auxílio de lâmina comum de barbear. As secções foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio 30% e coradas com safranina e azul de astra, seguindo metodologia usual em anatomia vegetal (Johansen, 1940). Imagens das secções foram digitalizadas utilizando sistema de câmeras CCD acoplado ao microscópio óptico. As análises foram feitas com programa de análise de imagens *Image Tool* (Wilcox et al., 2002).

3. Resultados e Discussão

De modo geral, a resposta espectral em folhas de *Croton blanchetianus*, *Caesalpinia pyramidalis* e *Mimosa* sp. apresentou um padrão de comportamento caracterizado pela baixa reflectância na região do azul (400 a 500 nm) e do vermelho (600 a 700 nm) e elevados picos de energia refletida na região do verde (500 a 600 nm) (Figura 2). De acordo com Ponzoni (2001), o resultado da espectroradiometria foliar encontrado para estas espécies concorda com o comportamento espectral característico para o alvo vegetal e é justificado por suas propriedades ópticas.

As espécies, quando comparadas entre si, apresentam comportamento espectral que as diferenciam (Figura 2). Na região do visível, nas faixas compreendidas entre 400 e 500 nm (azul) e 600 a 700 nm (vermelho), *Croton blanchetianus* apresentou a menor absorção de energia luminosa entre as espécies estudadas (Figura 2). *Caesalpinia pyramidalis* e *Mimosa* sp. apresentaram valores de absorbância semelhantes na região do azul, diferenciando de modo mais evidente na região do vermelho, onde *Mimosa* sp. destaca-se pela maior absorção.

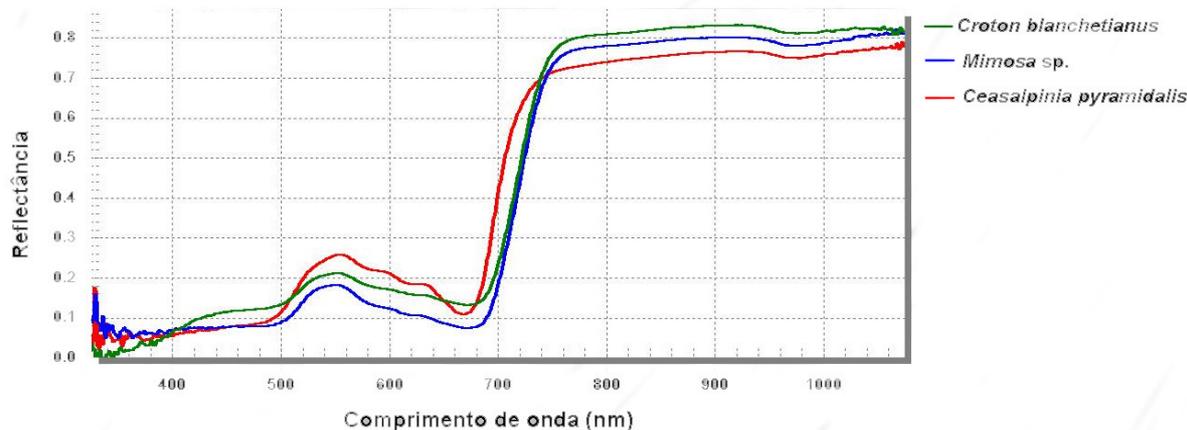


Figura 2. Comportamento espectral de espécies lenhosas dominantes, naturalmente estabelecidas em um fragmento de caatinga, em Brejo da Madre de Deus, Pernambuco-Brasil, em agosto de 2010.

De acordo com Sims e Gamon (2002), o comportamento espectral foliar na região do azul e do vermelho é fortemente influenciado pela quantidade de pigmentos clorofilianos, com uma correlação positiva entre o teor de clorofila e a absorção da energia irradiada sobre a folha.

Ao analisarmos os dados relativos à quantidade de clorofila contida nas folhas de *Croton blanchetianus*, *Caesalpinia pyramidalis* e *Mimosa* sp. observamos que a espécie com menor curva de absorção continua, contraditoriamente, maior quantidade das clorofilas *a* e *b* seguidas da clorofila total (Tabela 1). Estudos apontam que o comportamento espectral foliar na região do azul não é recomendado como parâmetro confiável para a identificação do teor de clorofila e é passível de análise isolada quanto a influência desse pigmento na resposta

espectral, devido à forte influência da presença de carotenóides (Sims e Gamon, 2002). Isto nos permite inferir que as espécies aqui estudadas, sobretudo *C. blanchetianus*, tem a sua absorção influenciada de maneira mais expressiva pela presença de outros pigmentos fazendo-se necessária a realização de estudos suplementares com este fim para a obtenção de uma informação precisa que justifique as respostas espectrais encontradas neste estudo.

A curva espectral exibida pelas espécies no intervalo de comprimento de onda compreendido entre 500 e 600 nm (região do verde) aponta os maiores valores de reflectância para *Caesalpinia pyramidalis*, seguida por *Croton blanchetianus* e *Mimosa* sp. Neste intervalo de onda os pigmentos exercem baixa influência quanto à absorção da energia fotossintética ativa ocasionando, deste modo, picos de reflectância. A quantidade e as combinações de concentração de diferentes pigmentos irão atuar diretamente na qualidade e intensidade da coloração apresentada pelas folhas, produzindo um comportamento espectral distinto com reflectância em correlação positiva com a intensidade de verde exibido (Ponzoni, 2001).

Tabela 1. Média do teor de clorofila apresentados por espécies lenhosas dominantes, naturalmente estabelecidos, em um fragmento de caatinga, em Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.

Espécie	Clorofila		
	A	B	Total
<i>Caesalpinia pyramidalis</i>	24,88	6,10	30,98
<i>Croton blanchetianus</i>	37,28	15,11	52,39
<i>Mimosa</i> sp.	16,58	4,28	20,86

Na região do infravermelho próximo, *Croton blanchetianus* apresentou maior pico de reflectância, seguida por *Mimosa* sp. e *Caesalpinia pyramidalis* (Figura 2). Kumar (1974) e Carrielo et al. (2003) indicam que a resposta espectral compreendida entre 700 e 1350nm é fortemente influenciada pela estrutura anatômica.

Croton blanchetianus apresenta arquitetura foliar com epiderme unisseriada, onde ocorrem tricomas pluricelulares estrelados, em ambas as faces, com maior número na face abaxial. O mesofilo é compacto e dorsiventral, diferenciado em paliçádico (uma camada de células) e esponjoso (três camadas de células), onde o paliçádico ocupa mais de 50% da espessura total do mesofilo (Figura 3A). Idioblastos contendo drusas estão imersos no parênquima e ocorrem, preferencialmente, entre as células do parênquima paliçádico, naquelas imediatamente abaixo da face superior da epiderme (Figura 3B).

Mimosa sp. apresenta epiderme unisseriada com ausência de tricomas. O mesofilo é dorsiventral, com parênquima clorofiliano apresentando uma ou duas camadas curtas de parênquima paliçádico e três camadas de parênquima esponjoso com espaços intercelulares. Foram encontrados cristais monohídricos amplamente distribuídos em todo o mesofilo (Figura 3C).

Caesalpinia pyramidalis apresenta epiderme unisseriada contendo tricomas unicelulares tectores simples e escassos, ocorrendo em ambas as faces da folha. O mesofilo apresenta parênquima clorofiliano compacto e dorsiventral, com uma camada de parênquima paliçádico ocupando quase 50% da espessura total do mesofilo e com três a quatro camadas de parênquima esponjoso. Não foram encontrados cristais monohídricos (Figura 3D).

Em ambientes xerofíticos, como a caatinga, as plantas desenvolvem caracteres morfoanatômicos próprios que as permitam sobreviver sob condições especiais, sobretudo com elevada luminosidade. As estratégias estruturais visam a diminuição dos efeitos danosos causados pela irradiação solar direta sobre a folha e atuam como refletores da luminosidade excessiva (Fahn e Cutler, 1992).

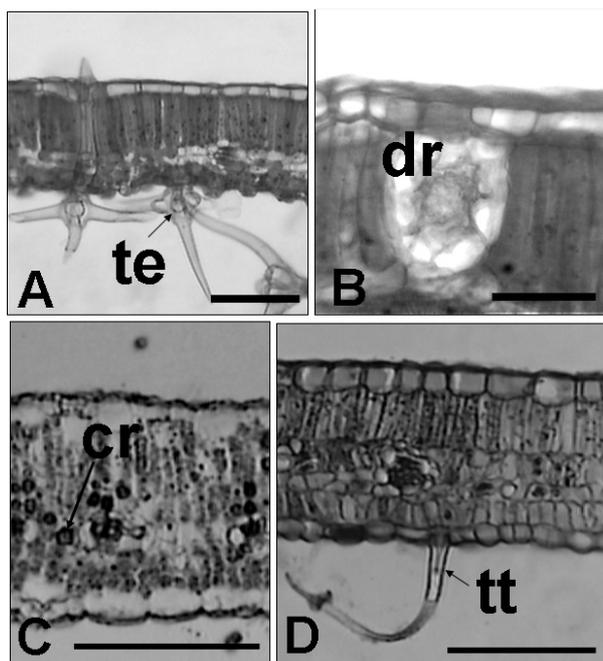


Figura 3. Anatomia foliar de espécies lenhosas dominantes em um fragmento de caatinga, em Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. A-B. *Croton blanchetianus*. C. *Mimosa* sp. D. *Caesalpinia pyramidalis*. cr, cristais monohídricos; dr, idioblastos contendo drusas, te, tricomas pluricelulares estrelados; tt, tricomas tectores simples. Barras: Fig. 3A, 100 μ m; Fig. 3B, 30 μ m; Fig. 3C-D, 100 μ m.

Entre os caracteres morfoanatômicos da folha que são auxiliares na ampliação da reflectância destacamos os tricomas e as drusas. Gausman e Cardenas (1968) indicam que a presença de tricomas constitui barreiras de impedimento na absorção da luz e por ampliarem a reflectância. A geometria estrutural dos cristais também auxilia na máxima de reflectância, pois são estruturas multifacetadas (Fahn e Cutler, 1992). Estes dois caracteres foram encontrados na espécie de maior reflectância corroborando com os autores.

A reflectância de *Mimosa* sp., além de ser maximizada pela participação de cristais, é auxiliada pelos espaços existentes entre as células do parênquima clorofiliano esponjoso, fazendo com esta espécie mostre comportamento similar àquele observado em *Croton blanchetianus*. De acordo com Sims e Gamon (2002) e Carrielo et al. (2003), o aumento da reflectância também pode ser consequência do aumento na quantidade e dimensões dos espaços intercelulares e do tamanho das células do tecido clorofiliano.

O número de camadas de células do parênquima clorofiliano também influenciará na reflectância foliar, pois no mesófilo existem múltiplas reflexões e refrações da luz, em consequência das descontinuidades entre os índices de refração nos espaços intercelulares e nas paredes celulares, onde, quanto maior o número de camadas celulares menor a reflectância (Carrielo et al., 2003). Neste estudo, este comportamento foi observado em *Caesalpinia pyramidalis*.

A máxima de reflectância apresentada pelas espécies coincidiu com a maior frequência, dominância e cobertura vegetal dos indivíduos no ambiente.

4. Conclusão

A espectrorradiometria foliar de *Croton blanchetianus*, *Caesalpinia pyramidalis* e *Mimosa* sp. mostrou que estas espécies apresentam estratégias funcionais distintas.

As curvas espectrais de cada espécie refletiram a eficácia de sua organização estrutural na interação com o meio para a redução de efeitos danosos da irradiação. A maior frequência, dominância e cobertura vegetal de *Croton blanchetianus* e *Mimosa* sp. parecem

estar facilitadas pela presença de tricomas pluricelulares estrelados e cristais (drusas), na primeira, e maior quantidade de espaços intercelulares e cristais (monohídricos), na segunda.

Esta análise é uma avaliação inicial da relação entre elementos da estrutura vegetal e sua relação com o ambiente para a identificação de caracteres que conferem resiliência e/ou susceptibilidade das plantas às oscilações ambientais, visando colaborar com políticas e ações para a preservação/conservação da caatinga.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e a Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão de bolsa de estudo, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio à pesquisa, ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) da Universidade Federal de Pernambuco e ao Laboratório de Fitomorfologia Funcional (LAFF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

6. Referências bibliográficas

Ackerly, D. 2004. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. **Ecological Monographs**, v. 74, p. 25-44.

Andrade, C. A.; Peitz, C.; Cúnico, M.; Carvalho, J. S. L.; Abrahão, W. M.; Miguel, O. G.; Miguel, M. D.; Kerber, V. A. Avaliação da atividade antibacteriana e triagem fitoquímica das flores de *Acacia podalyriifolia* A. Cunn. Ex. G. Don. Leguminosae-Mimosoideae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 1, p 13-15, 2005.

Botta-Dukat, Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science**, v 16, p. 533-540, 2005.

Carrielo, F., Miranda, F. G., Ponzoni, F. J., Cardoso, P. A., Martins, S. P. Uso da Transmitância na caracterização espectral de folhas verdes, **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, INPE, p. 2451-2457, 2003.

Cornelissen, J. H. C. S.; Lavorel, E.; Garnier, S.; DIAZ, N.; Buchmann, D. E.; Gurvich, P. B.; Reich, H.; Ter Steege, H. D.; Morgan, M. G. A.; Van Der Heijden, J.; Pausas, G.; Poorter, H. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 51, p. 335-380, 2003.

Demarez, V.; Gastellu-Etchegorry, J.P. A Modelling Approach for Studying Forest Chlorophyll Content. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, p. 226-238, 2000.

Fahn, A.; Cutler, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebruder Borntraeger, 1992. 176 p.

Falker Automação Agrícola LTDA. Manual do medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030, Porto Alegre, 2008. 4p.

Gausman, H.W.; Cardenas, R.. 1968. Effect of Pubescence on Reflectance of Light. Proc. 5th Symp. on **Remote Sensing of Environment**. Univ. Mich., Ann Arbor, pp.291-297.

Johansen, D. A. **Plant Microtechnique**. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 1940. 523 p.

Kumar, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review**. Lafayette. Purdue Research Foundation. (Research Project n:5543), 1974, 88p.

Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. 531 p., 2000.

Leal, I.R.; Tabarelli, M.; Silva, J.M.C. (Eds). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 287 p.

MAAREL, E. van der. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. **Vegetatio**, v.39, p.97-114, 1979.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Monitoramento dos biomas brasileiros: Caatinga. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/apresentacao_minc_02mar2010_caatinga_versao_imprensa_72.pdf>. Acessado em 02 de abril de 2010.

Noomen M.F., Skidmore A.K., Van der Meer F.D. **Detecting the Influence of Gas Seepage on Vegetation using Hyperspectral Remote Sensing**. Geological Survey of Canada, 2003. 257 p.

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. Comportamento espectral da Vegetação. In: **Sensoriamento Remoto – Reflectância dos Alvos Naturais**. Editores: MENESES, P.R. & MADEIRA NETTO, J.S. Universidade de Brasília – UnB. Embrapa Cerrados. Brasília, DF. p. 157-199, 2001.

Ricotta, C. A note on functional diversity measures. **Basic and Applied Ecology**, n. 6, p. 479-486, 2005.

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.

Souza Filho, C. R. ; Augusto, V. A. ; Oliveira, W. J. ; Lammoglia, T. , 2008, Detecção de Exsudações de Hidrocarbonetos por Geobotânica e Sensoriamento Remoto Multi-Temporal: Estudo de Caso no Remanso do Fogo (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, p. 1-14, 2008.

Wilcox, D.; Dove, B.; McDavid, D.; Greer, D. 2002. **Image Tool**. University of Texas Health Science Center. San Antonio. Texas.

Zarco-Tejada PJ, Miller JR, Morales A, Berjo´n A, Agu`era J. Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. **Remote Sensing Environment**, v. 90, p. 463–76, 2004.