

## **Espectrorradiometria foliar na determinação de déficit hídrico em espécies de cerrado *stricto sensu* no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães/MT**

Alan Tocantins Fernandes<sup>1,2</sup>  
Gustavo Manzon Nunes<sup>1,2</sup>  
James Moraes de Moura<sup>3</sup>  
Luiz Fernando Bohnenberger Dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso - FENF/UFMT - LabSensor  
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 - Boa Esperança - 78060-900  
Cuiabá - MT, Brasil  
alantfernandes@gmail.com  
gustavomn@gmail.com  
luizbohnem@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas - INAU  
Rua Dois, 497 - Boa Esperança - 78068-360  
Cuiabá - MT, Brasil

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT  
Campus Cuiabá - Bela Vista  
Av. Juliano Costa Marques, s/n - 78050-560 - Cuiabá - MT, Brasil  
james.moura@blv.ifmt.edu.br

**Abstract.** The combination of near (NIR) and shortwave infrared (SWIR) has been widely used to retrieve information at leaf level, detect moisture content and vegetation dynamics. Detection of water stress based on plant physiology and spectral responses have shown positive results, and provided information on vegetation biophysical parameters such as the chlorophyll content, the leaf area index, and the vegetation water content. This study aims at the use of spectroradiometry to observe the behavior of three typical cerrado species *Hymenaea stigonocarpa*, *Eschweilera nana* and *Vochysia cinnamomea* during a dry period (July to September), using reflectance to determine leaf water content, and therefore, search for a better understanding of the responses of these plants to drought, and changes in plant behavior in periods when external factors, however natural such as low precipitation, exert disadvantageous influence on plant growth and survival. Reflectance factors at NIR and SWIR (spectrum between 1300nm a 2000nm) were measured on leaves of the different species, i.e. different leaf morphologies, and their results were compared. Four vegetation indexes were also used to investigate the sensitivity of reflectance data at leaf level and their variation in leaf water in the give period. The use of these indexes in this study has shown that in dry periods *Vochysia cinnamomea* had more water deficit in the months of collection, but good vegetation vigor; *Eschweilera nana* was the species that in general showed greater resilience and retention of water content in the foliage.

**Palavras-chave:** estresse hídrico, resposta espectral, cerrado, índice de vegetação.

### **1. Introdução**

Nas últimas décadas, a ocorrência repetida de incêndios graves que afetam várias partes do mundo, destacou a necessidade de desenvolver ferramentas de monitoramento eficazes para avaliar e, eventualmente, mitigar esses fenômenos. Em algumas regiões, por apresentarem um regime pluvial marcado por períodos de secas intensas, o problema das queimadas é potencializado. O cerrado brasileiro apresenta esta característica, e sua vegetação cresce em um ambiente submetido às tais secas sazonais, que apesar de ser adaptada a sobreviver a deficiência hídricas por longos períodos, quando as queimadas ocorrem, trazem perda de biomassa e de vida silvestre, mas também prejuízos financeiros, além de vários riscos à saúde das populações.

O stress hídrico nas plantas em períodos secos pode ser devido a vários fatores, como temperaturas elevadas, baixo conteúdo de água no solo, umidade atmosférica relativamente baixa, e a falta de água. Para melhor compreender os processos destes fenômenos, é essencial monitorar os parâmetros que os influenciam, tais como variáveis meteorológicas, a quantidade de biomassa e a capacidade de retenção de água da vegetação. A quantidade de água na vegetação é um dos parâmetros chave para os modelos de comportamento e propagação dos incêndios, por exemplo, já que tem um forte controle sobre a probabilidade inicial de ignição, rendimento da combustão e o grau de transmissão do fogo.

Este trabalho, pretende investigar a resposta espectral foliar para três espécies tipicamente encontradas no cerrado brasileiro, permitindo gerar subsídios para um melhor entendimento fisiológico destas plantas ao déficit hídrico, em período onde fatores externos, mesmo que naturais, como a baixa precipitação, exercem influência desvantajosa sobre a planta.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área selecionada para estudo e realização de coletas, foi o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG), que está localizado no estado de Mato Grosso, nos municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães. O parque protege uma amostra do bioma Cerrado que vem, historicamente, sendo devastado, e lá são encontradas diversas fitofisionomias, tais como: mata ciliar, mata de galeria, mata seca, cerradão, cerrado *stricto sensu* (cerrado denso, cerrado típico, cerrado rupestre), campo sujo, campo limpo, vereda e palmeiral (BRASIL, 1982a). O clima na região, de acordo com a classificação de Köppen, inclui-se nas categorias Aw (na Depressão Cuiabana) e Cw (na Chapada), que caracterizam-se pela presença marcante de uma estação chuvosa (outubro a março) e uma seca (abril a setembro). A precipitação média anual permanece entre 1300 e 1600 mm de chuvas na Baixada Cuiabana e chega a 2100 mm anuais nas porções mais altas da Chapada dos Guimarães (ICMBIO, 2009).

O presente estudo foi realizado no extremo norte do PNCG (Figura 1), cuja área de coleta está situada a  $15^{\circ}12'35,6''S$  e  $55^{\circ}55'51,4''O$ , com vegetação predominante cerrado *stricto sensu*. Foram selecionadas 3 (três) espécies típicas da região: Jatobá-do-Cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*), Pau-doce (*Vochysia cinnamomea* Pohl.) e Ovo-frito (*Eschweilera nana* (Berg.) Miers).

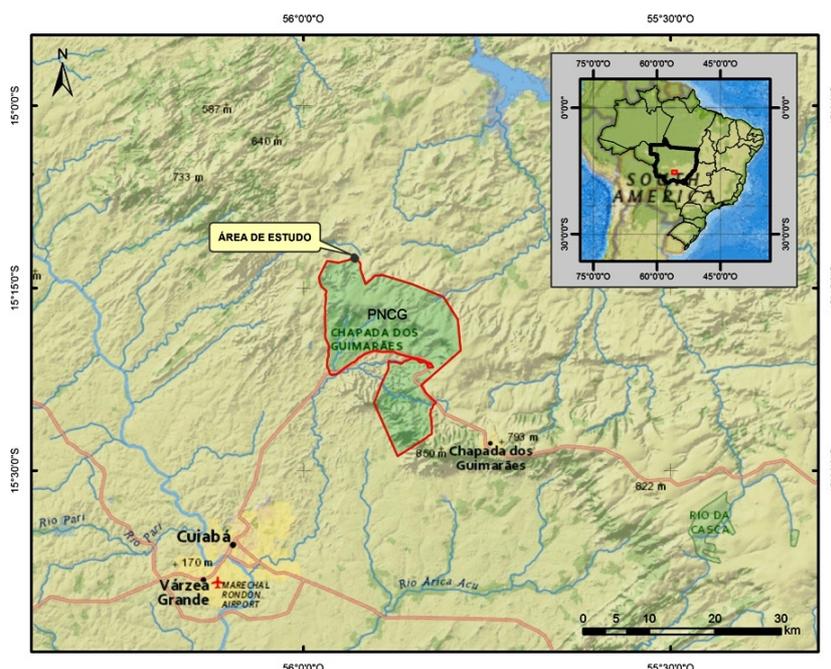


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães – MT

As coletas foram realizadas no período de seca, nos dias 26 de julho, 24 de Agosto e 20 de setembro de 2014. Cada coleta consistiu em amostragens de 3 (três) indivíduos adultos de cada espécie, sendo que para cada indivíduo foram coletadas 6 (seis) folhas, totalmente desenvolvidas, do seu dossel. Após coletadas, foram acondicionadas em sacolas plásticas em isopor com gelo, mantendo a integridade da folha até deslocamento ao laboratório para posteriores análises.

No Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias (LabSensor) da FENF/UFMT, as medidas foram tomadas em triplicatas por cada folha coletada, utilizando o espectrorradiômetro portátil de campo FieldSpec 4 Standard-Res, no intervalo de comprimento de onda ( $\lambda$ ) entre 350nm a 2500nm e com resolução espectral de 3nm a 700nm e 10nm em 1400/2100nm. A calibração do aparelho foi feita sistematicamente após a leitura de cada indivíduo.

Para a realização das leituras de reflectância foliar, foi utilizado o acessório *Leaf Clip*, que é capaz de manter a mesma intensidade de luz e incidência ortogonal em todas as leituras, atuando, portanto, como um método totalmente controlado.

As medidas radiométricas foram armazenadas, visualizadas e analisadas através do software ASD ViewSpec, sendo seus dados convertidos para reflectância e tabulados posteriormente no software Microsoft Excel 2010. Foram geradas curvas espectrais para cada espécie em cada coleta, baseando-se na média aritmética das reflectâncias das réplicas amostrais. Dados climatológicos de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) foram obtidos em campo, através do aparelho portátil *Multifunctional Environmental Meter* ITMP 600 e são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Dados meteorológicos dos dias de coleta**

Coletas	Temp. (°C)	Umidade (%)
26/07/2014	26,2	68,4
24/08/2014	39,7	26,9
20/09/2014	37,4	44,3

Índices vegetativos (Tabela 2) foram mensurados e utilizados para analisar déficit hídrico na vegetação: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI); Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI); Índice de Stress Hídrico (MSI); e Índice do Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII).

**Tabela 2. Índices espectrais de vegetação**

Índice	Equação	Referência
Índice de Estresse Hídrico	$MSI = \frac{\rho_{1650}}{\rho_{835}}$	Hunt e Rock (1989)
Índice de Água por Diferença Normalizada	$NDWI = \frac{(\rho_{860} - \rho_{1240})}{(\rho_{860} + \rho_{1240})}$	Gao (1996)
Índice do Infravermelho por Diferença Normalizada	$NDII = \frac{(\rho_{835} - \rho_{1650})}{(\rho_{835} + \rho_{1650})}$	Hardisky et al. (1983)
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	$NDVI = \frac{(\rho_{680} - \rho_{800})}{(\rho_{680} + \rho_{800})}$	Kriegler et al. (1969)

Para as análises estatísticas, realizou-se o teste de médias de Tukey (95% de confiança) (BOX et al. 1978; ESPINOSA, 2007; MOURA, 2007) para se observar a homogeneidade das amostras no intervalo de 720 a 1350 nm, e 1300nm a 2000nm, conforme sugerido por Ponzoni (2002), usando o software Minitab 16 (2013).

### 3. Resultados e Discussão

Foi possível diferenciar condições biológicas das espécies do Cerrado analisadas, comparando-se as assinaturas espectrais. Quando comparadas, as espécies apresentaram variações, tais como maturidade e pigmentação das folhas e atividades fotossintéticas. Na região do infravermelho próximo (720 a 1350nm – Figura 2), *Vochysia cinnamomea* foi a que apresentou menor variação entre as médias espectrais no período de coleta, enquanto que *Eschweilera nana* apresentou maior variação, mostrando inclusive uma absorção maior nesta região no mês de Agosto (Tabela 3), que teve a maior temperatura e menor umidade relativa do ar conforme a Tabela 1. Isto se comprova pela distinção total dos valores da curva espectral nesta espécie em diferentes meses, onde as médias apresentadas diferenciam-se estatisticamente entre si.

**Tabela 3. Média das curvas espectrais nas regiões de infravermelho próximo e médio e teste de Tukey\* das espécies vegetais estudadas no PNCG em diferentes coletas de 2014.**

Espécies	Infravermelho próximo			Infravermelho médio		
	720 a 1350 nm			1300 a 2000 nm		
	Julho	Agosto	Setembro	Julho	Agosto	Setembro
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	0,45988 <b>b</b>	0,47796 <b>a</b>	0,46323 <b>b</b>	0,2227 <b>b</b>	0,2623 <b>a</b>	0,2517 <b>a</b>
<i>Vochysia cinnamomea</i>	0,54706 <b>b</b>	0,54235 <b>b</b>	0,55361 <b>a</b>	0,1981 <b>a</b>	0,2104 <b>a</b>	0,2086 <b>a</b>
<i>Eschweilera nana</i>	0,45093 <b>b</b>	0,43409 <b>c</b>	0,46885 <b>a</b>	0,2173 <b>b</b>	0,2356 <b>a</b>	0,2347 <b>a</b>

\*Letras iguais indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos espectrais em cada avaliação pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As plantas não mostraram um padrão de variação semelhante de reflectância nesta região, o que era de se esperar, já que possuem diferentes estruturas vegetais, o que pode ser demonstrado na diferença significativa entre as médias das curvas espectrais estudadas, e comprovadas pelo Teste de Tukey. Variações na reflectância nesta região do espectro são controladas pela natureza das complexas cavidades dentro da folha e os reflexos internos da radiação infravermelha dentro destas cavidades, mas também pelo colapso das paredes celulares (CAMPBELL, 2006).

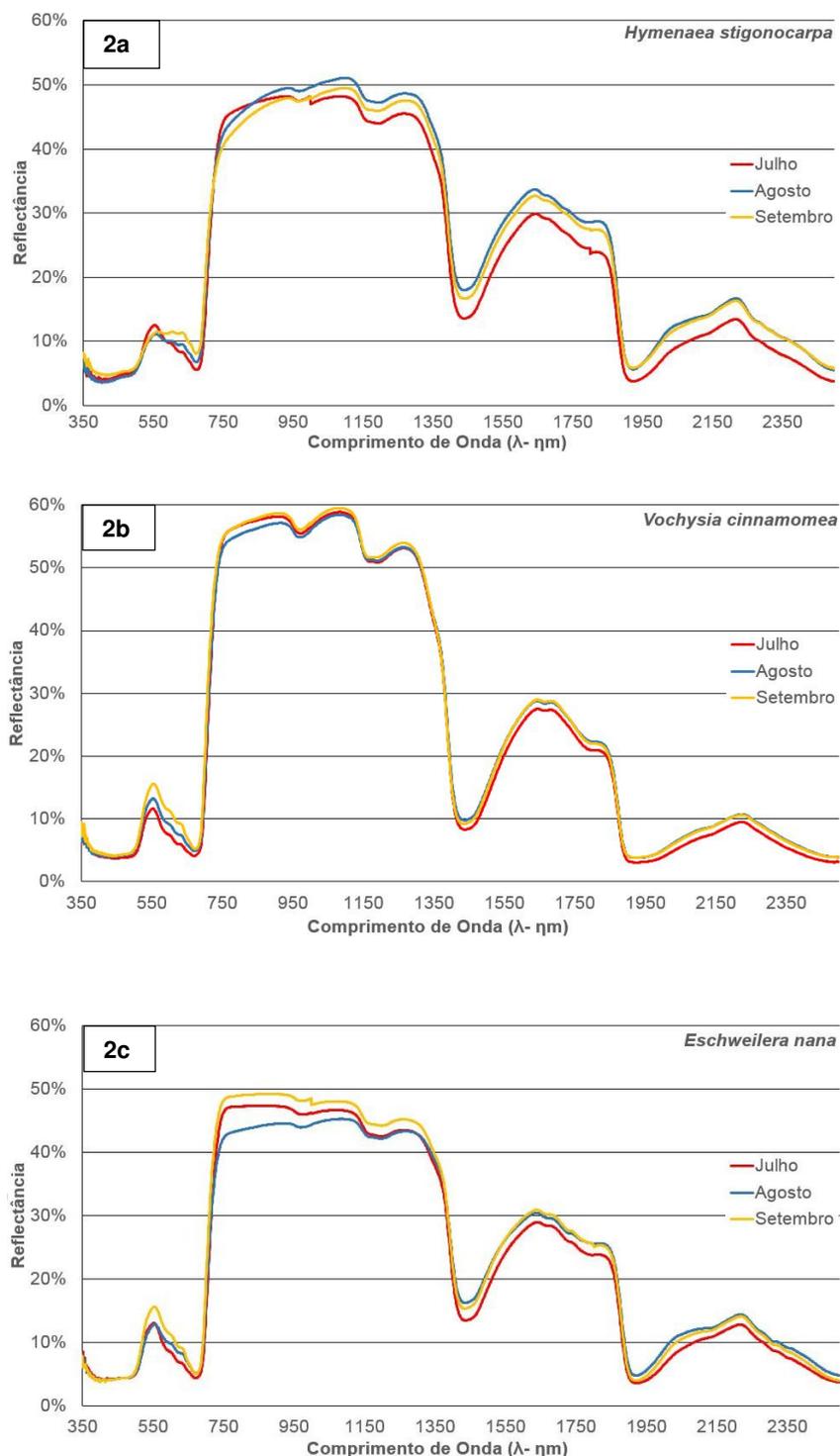
Larcher (2006) considera que a seca é um estado ambiental em que a demanda de energia pela planta é maior que a produção, o que leva a problemas fisiológicos, seguidos por aclimatação e estratégias de adaptação nas gerações seguintes. Observou-se que esta diferença torna-se marcante no mês de Agosto para as espécies *Hymenaea stigonocarpa* e *Eschweilera nana*, onde esta primeira apresenta o aumento da reflectância e conseqüentemente alterações na relação da célula com a água, mudanças estas fundamentais nos processos fisiológicos, na estrutura de membranas, além de mudanças morfológicas e fenológicas (PIMENTEL, 2004). Já para a segunda espécie, a diferença estatística se dá pela diminuição da média da curva espectral, inferindo-se possivelmente aumento da resiliência vegetal. Como reforça Martins (2008), aí reside a importância de estudos que permitam compreender os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento vegetal.

A região do infravermelho de ondas curtas, foi a mais relevante neste estudo, pois está associada a determinações do teor de umidade foliar, devido à resposta espectral em função do conteúdo de água. A água absorve consideravelmente a radiação eletromagnética incidente na região espectral compreendida entre 1300nm a 2000nm (PONZONI, 2002) e a perda de umidade das plantas são indicadas pela absorção menos intensa nesta região. As diferentes estruturas vegetais também proporcionam respostas singulares, diferenciadas pelos diferentes arranjos e estruturas celulares.

O comportamento espectral das espécies nesta região foi o esperado, pois a cada coleta, as feições de absorção indicavam menos intensidade, resultado da perda da umidade da planta. As Figura 2 demonstram que, neste intervalo, as respostas apresentaram uma similaridade, pois a

absorção diminuiu ao partir da primeira medição. Em julho, as três espécies apresentaram maior absorção hídrica nesta região, porém diminuindo em agosto e setembro, indicando um déficit hídrico nos dois últimos meses de coleta.

**Figura 2. Curvas espectrais das espécies vegetais *Hymenaea stigonocarpa* (2a), *Vochysia cinnamomea* (2b) e *Eschweilera nana* (2c) nos períodos de coleta no PNCG em 2014.**



Neste cenário, *Vochysia cinnamomea* foi a espécie que, em geral, apresentou uma variação de déficit hídrico menos expressiva entre as coletas, e portanto, maior vigor vegetativo, caracterizado principalmente pela absorção mais contínua de energia pela água. Esta pequena

variação espectral pode ser comprovada pela análise do teste de Tukey (Tabela 3), cuja a média da variação dos comprimentos de onda da espécie nas diferentes coletas não apresenta diferenças significativas.

Embora *Hymenaea stigonocarpa* e *Eschweilera nana* tenham apresentado respostas semelhantes para o mês de julho, a primeira demonstrou maior aumento do estresse hídrico nos demais meses, e a segunda apresentou um leve aumento com estabilidade de seus valores. De acordo com Nogueira et al. (2005), este aumento pode ser gerado pela diminuição da turgescência das células vegetais, afetando primeiramente no processo de crescimento da planta.

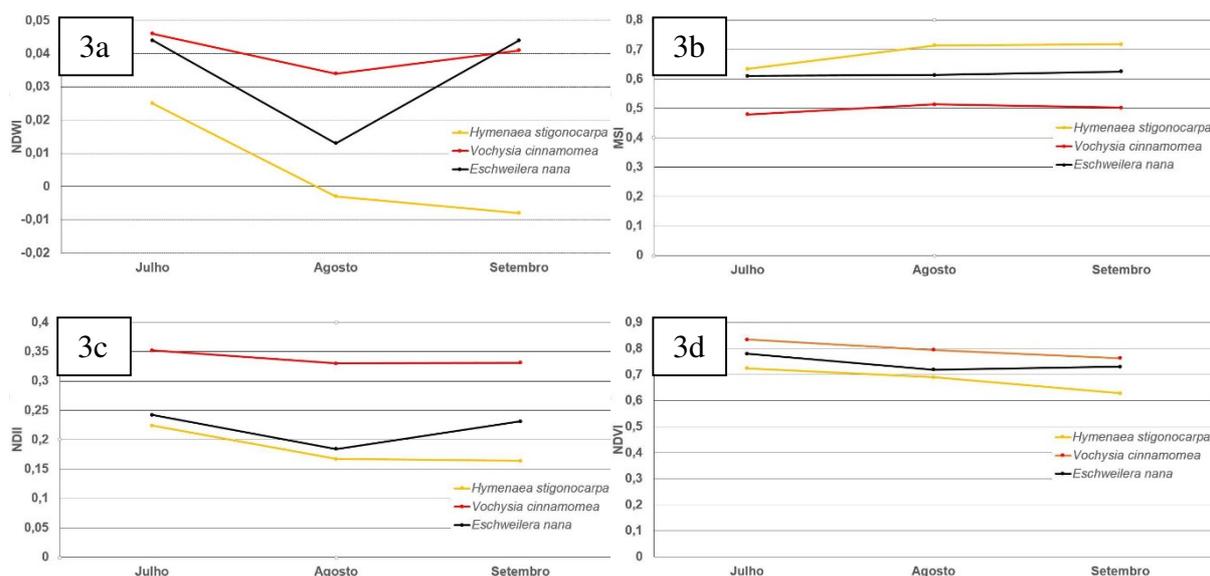
A análise do crescimento vegetal é de fundamental importância para o entendimento das reações do vegetal em relação aos fatores ambientais (BENINCASA, 1988; MARTINS, 2005). Assim a área foliar é reduzida, como primeira resposta a indisponibilidade hídrica, tendo como consequência a diminuição do conteúdo de água da folha (TAIZ e ZEIGER, 2002), estas plantas iniciam a perda de suas folhas. Esta situação foi observada em campo, quando deparada a diferença muito expressiva da perda foliar no dossel vegetal da espécie *Hymenaea stigonocarpa*. Isto é demonstrado pelo aumento drástico da média da curva espectral no decorrer das coletas. Pesquisa semelhante quanto ao número foliar também foi diagnosticado por Figuerôa et al. (2004) que, após ter avaliado por 30 dias o crescimento de plantas jovens de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), observaram reduções significativas do efeito do estresse hídrico nas plantas com menor disponibilidade hídrica, acentuando-se essa redução aos 60 dias.

A aplicação dos índices espectrais contribuiu para a análise de estresse das 3 espécies, e suas variações no período de três meses. Seus resultados são apresentados na Tabela 4, e demonstrados nas Figuras 3. Estes índices são medidas de reflectância sensíveis a mudanças no estado da água do dossel.

**Tabela 4. Índices espectrais das 3 espécies de plantas estudadas nos meses de coleta de 2014, no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães - MT**

Índices	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>			<i>Vochysia cinnamomea</i>			<i>Eschweilera nana</i>		
	Julho	Agosto	Setembro	Julho	Agosto	Setembro	Julho	Agosto	Setembro
NDWI	0,025	-0,003	-0,008	0,046	0,034	0,041	0,044	0,013	0,044
MSI	0,634	0,714	0,718	0,479	0,513	0,502	0,610	0,613	0,625
NDII	0,224	0,167	0,164	0,352	0,330	0,331	0,242	0,184	0,231
NDVI	0,724	0,690	0,628	0,835	0,795	0,763	0,780	0,719	0,730

**Figura 3. Índices espectrais NDWI (3a), MSI (3b), NDII (3c) e NDVI (3d) das espécies vegetais *Hymenaea stigonocarpa*, *Vochysia cinnamomea* e *Eschweilera nana* nos períodos de coleta no PNCG em 2014.**



O valor do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) está correlacionado com o conteúdo de água no dossel vegetal, indicando valores oscilantes de umidade nas plantas (HARDISKY et al., 1983; GAO, 1996). O valor deste índice varia de -1 a 1, e o intervalo comum para a vegetação verde é de - 0,1 a 0,4 (GAO, 1996). Analisando a Figura 3a, pode-se observar o comportamento no NDWI nas 3 espécies durante o período de três meses. Nota-se uma queda expressiva deste índice de julho para agosto nas 3 espécies, provavelmente devido à baixa umidade relativa do ar e as altas temperaturas daquele mês. No entanto, observa-se uma recuperação em *Vochysia cinnamomea* e *Eschweilera nana* em setembro para valores semelhantes com os de julho. Já com *Hymenaea stigonocarpa*, a queda continua em setembro, atingindo um NDWI de - 0,008. Gao (1996) nota que um valor de - 0,056 caracteriza uma folha seca.

Para o Índice por Estresse Hídrico (MSI) (Figura 3b) nota-se uma elevação, de julho para setembro, nos valores para todas as espécies. Este índice é invertido em relação a outros índices usados, pois os valores elevados indicam maior estresse hídrico e menor teor de água, e é portanto, sensível ao aumento do teor de água na folha. À medida que o teor de água das folhas na copa da vegetação aumenta, a força de absorção em torno de 1600nm também aumenta, e como a absorção a 820nm é pouco afetada pela alteração do conteúdo de água, é usado como referência (HUNT e ROCK, 1989). *Vochysia cinnamomea* é a espécie que apresentou menor alteração neste índice nos meses de estudo.

No Índice do Infravermelho por Diferença Normalizada (NDII), no qual os valores do índice aumentam com o aumento do teor de água, as medições apresentaram uma queda de julho para agosto em todas as espécies, e numa tendência similar à do NDWI, a queda continua em setembro para *Hymenaea stigonocarpa*, enquanto que permanece estável para *Vochysia cinnamomea* e parcialmente recuperada para *Eschweilera nana*.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), permite a detecção e monitoramento de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividade da vegetação, atuando como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1, e quanto mais próximos à +1, mais fotossinteticamente ativa é a vegetação. No presente estudo, os valores deste índice para as 3 espécies sofrem uma pequena variação, visto que não representa eficazmente resposta associada a umidade, pois utiliza em sua expressão de informações das regiões espectrais do visível e infravermelho próximo.

#### **4. Conclusões / Considerações finais**

A análise de assinaturas espectrais e uso de índices de vegetação permitem gerar informações mais detalhadas referentes ao estresse da vegetação, a previsão de produtividade, análise de condição de risco de incêndio e nos estudos de fisiologia de espécies. A utilização destes índices no presente estudo mostrou que nos períodos de seca na área de estudo, *Vochysia cinnamomea* obtiveram maior déficit hídrico nos meses de coleta mas com bom vigor vegetativo, e *Eschweilera nana* foi a espécie, em geral, que mostrou maiores resiliência e retenção de teor de água em sua folhagem.

#### **5. Referências Bibliográficas**

Benincasa, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. 1ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

Brasil. Projeto RADAMBRASIL. **Série Levantamento de Recursos Naturais**, v.27-28. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral: Rio de Janeiro. 1982.

Box, G. E. P.; Draper, W. G.; Hunter, J. S. **Statistics of Experiments: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. John Wiley & Sons Inc. New York. 1978.

Espinosa, M. M. Estatística básica aplicada à agronomia. **Apostila elaborada para curso de pós-graduação em Agricultura Tropical** – UFMT. Cuiabá – MT - Brasil. Março, 2007. 74p.

Figueirôa, J. M.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botanica Brasílica**, v. 18, n. 3, p. 573-580. 2004.

Gao, B.C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

Hardisky, M.S.; Klemas, V.; Smart, R.M. The influence of soil salinity, growth form and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies, **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.48, n.1, p.77-84, 1983.

Harris A.; Bryant, R.G.; Baird, A.J. Detecting near-surface moisture stress in *Sphagnum* spp., **Remote Sensing of Environment**, n.97, p.371-381, 2005.

Hunt, E.R.; Rock, B.N. Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectance, **Remote Sensing of Environment**, n.30, p.43-54, 1989.

ICMBIO. **Plano de manejo: Parque Nacional da Chapada dos Guimarães**. Relatório final editado em abril de 2009. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/parnaguimaraes/>. Acessado em 01 de agosto de 2010.

Kriegler, F.J.; Malila, W.A.; Nalepka, R.F.; Richardson, W. 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition.' **Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment**, p. 97-131, 1969.

Larcher, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.

Martins, M.O. **Aspectos fisiológicos do nim indiano sob déficit hídrico em condições de casa de vegetação** 2008. 84p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Biologia. 2008.

Moura, J. M. **Impacto do fogo sobre a microbiota edáfica em diferentes fitofisionomias do Pantanal em Mato Grosso**. 2007. 97p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Pós-graduação em Agricultura Tropical, 2007.

Nogueira, R. J. M. C.; Albuquerque, M. B.; Silva, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, E. L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p.22-31, 2005.

Pimentel, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur. 2004. 191 p.

Ponzoni, F.J. Sensoriamento remotono estudo da vegetação: Diagnosticando A Mata Atlântica. São José dos Campos: **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2002. cap. 8, 27p. (INPE-8984-PUD/62).

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719p.