

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

**CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS NA
DIFERENCIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E
ESPECTRORRADIOMETRIA FOLIAR DE ESPÉCIES
FLORESTAIS DO BIOMA CERRADO**

Leandro Ribeiro Teixeira

CUIABÁ-MT

2014

Leandro Ribeiro Teixeira

**CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS NA
DIFERENCIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E
ESPECTRORRADIOMETRIA FOLIAR DE ESPÉCIES
FLORESTAIS DO BIOMA CERRADO**

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

CUIABÁ-MT

2014

R484c RibeiroTeixeira, Leandro.

CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS NA DIFERENCIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E ESPECTRORRADIOMETRIA FOLIAR DE ESPÉCIES FLORESTAIS DO BIOMA CERRADO / Leandro RibeiroTeixeira. -- 2014

100 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Gustavo Manzon Nunes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2014.

Inclui bibliografia.

1. Bioma Cerrado. 2. OBIA. 3. Espectrorradiometria. 4. Pigmentos fotossintéticos.
I. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS NA DIFERENCIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E ESPECTRORRADIOMETRIA FOLIAR DE ESPÉCIES FLORESTAIS DO BIOMA CERRADO

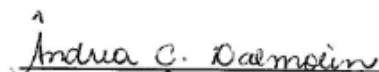
Autor: Leandro Ribeiro Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes

Aprovado em 19 de fevereiro de 2014.

Comissão Examinadora:


Prof. Dr. Zenesio Finger
UFMT


Prof. Dr.ª Andrea Carla Dalmolin
UNIVAG


Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes
UFMT (Orientador)

Dedicatória

À minha amada esposa, pelo
carinho, incentivo e compreensão.

Agradecimentos

À minha família, pela base educacional que me proporcionaram e pelo incentivo ao longo desses dois anos.

Ao meu orientador Dr. Gustavo Manzon Nunes, por todo suporte fornecido para a realização deste trabalho.

À Prof^a Dr^a Ândrea Carla Dalmolin, pelo imprescindível apoio e presteza para a realização das análises laboratoriais.

Aos professores Dr. Zenesio Finger e Dr. Auberto José Barros Siqueira, por acreditarem na importância e contribuição científica desta dissertação.

Aos colegas de laboratório Italo Luiz Corrêa Lenzi, Dennis Junio Esteves e André Pereira Dias (Pai André) por toda ajuda técnica fornecida, bem como pelo companheirismo ao longo deste período.

Ao prof. Dr. James Moura pelo suporte dado às análises estatísticas

Ao amigo Alan Fernandes, pelo apoio dado na tradução dos artigos.

Ao Torresmo, pelos momentos de descontração.

Por fim, a todos os meus amigos que estiveram sempre ao meu lado e puderam contribuir de alguma forma para a realização desta dissertação.

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 A REGIÃO DO GRUPO CUIABÁ.....	16
1.2 FITOFISIONOMIAS PRESENTES NA REGIÃO DE ESTUDO.....	16
1.3 CERRADO <i>STRICTO SENSU</i>	17
1.4 CAMPO CERRADO.....	17
1.5 FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL.....	18
1.6 FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL.....	18
2 BASE DE DADOS	19
3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	20
3.1 TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO.....	20
3.1.1 <i>Classificação Orientada a Objetos</i>	21
4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO	23
4.1 ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA.....	24
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPITULO II	32
RESUMO	32
1 INTRODUÇÃO	34
2 MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	38
2.2 DADOS SPOT 5.....	39
2.3 DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA O MAPEAMENTO.....	40
2.4 ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	42
2.5 VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO.....	43

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4 CONCLUSÃO.....	48
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPITULO III.....	54
1 INTRODUÇÃO	56
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1 ÁREA DE ESTUDO	62
2.2 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES.....	63
2.3 REGISTRO FOTOGRÁFICO DAS ESPÉCIES	72
3 ESPECTRORRADIOMETRIA FOLIAR.....	77
3.1 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1 ANÁLISES ESPECTRORRADIOMÉTRICAS.....	82
4.1.1 Resultados das análises de correlação de Pearson.....	84
4.2 EXTRAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	86
4.3 RELAÇÃO ENTRE CONTEÚDO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS E CURVAS ESPECTRAIS DE REFLECTÂNCIA NA REGIÃO DO VISÍVEL (400-700NM).....	90
5 CONCLUSÃO.....	93
6 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	94

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo.	38
Figura 2 - Sequência dos algoritmos e descritores utilizados no processo de classificação.....	43
Figura 3 - Mapeamento das classes de vegetação e ocupação do solo na área de estudo resultante da classificação orientada a objeto.	45
Figura 4 - Mapa de Localização da área de estudo.	62
Figura 5 - <i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.....	72
Figura 6 - <i>Myrcia albo-tomentosa</i> Camb.....	73
Figura 7 - <i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.....	74
Figura 8 - <i>Qualea parviflora</i> Mart.	75
Figura 9 - <i>Couepia grandiflora</i> (Mart. et Zucc.) Benth. ex.	76
Figura 10 - (1) Espectrorradiômetro Fieldspec 4 Standard-RES e (2) Acessório Leaf Clip.....	78
Figura 11 - Comportamento espectral (Reflectância/comp. de onda) na amplitude de bandas de 350nm a 2500nm das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) em um fragmento de Cerrado <i>Strico Sensu</i> em Cuiabá-MT.....	82
Figura 12 - Comportamento espectral (Reflectância/comp. de onda) na região do visível (400-700nm) das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) em um fragmento de Cerrado <i>Strico Sensu</i> em Cuiabá-MT.....	83
Figura 13 - Comportamento espectral (Reflectância/comp. de onda) na região do infravermelho próximo (700-1000nm) das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) em um fragmento de Cerrado <i>Strico Sensu</i> em Cuiabá-MT.....	84
Figura 14 - Período máximo de extração de pigmentos para <i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).	86
Figura 15 - Período máximo de extração de pigmentos para <i>Myrcia albo-tomentosa</i> Camb. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).....	87

Figura 16 - Período máximo de extração de pigmentos para <i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).....	87
Figura 17 - Período máximo de extração de pigmentos para <i>Couepia grandiflora</i> (Mart. et Zucc.) Benth. ex. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).....	88
Figura 18 - Período máximo de extração de pigmentos para <i>Qualea parviflora</i> Mart. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).....	88
Figura 19 - Comportamento espectral das espécies de maior Valor de Importância (VI) na região do espectro do visível e concentrações de clorofila. Onde, Onde, E1= <i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul; E2= <i>Couepia grandiflora</i> (Mart. et Zucc.) Benth.ex Hook. E3= <i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk. E4= <i>Myrcia albo-tomentosa</i> Camb. E5 = <i>Qualea Parviflora</i> Mart.	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características do sensor HRG.	19
Tabela 2 – Classes de vegetação presentes na área de estudo.	41
Tabela 3 - Classificação de Landis e Kock (1977).	44
Tabela 4 - Resultados da matriz de confusão.....	46
Tabela 5 – Análise do Valor de Importância (VI).....	65
Tabela 6 - Características das espécies de Maior Valor de Importância (VI) na área de estudo.	71
Tabela 7 - Características do Espectroradiometro <i>Fieldspec 4 Standard-RES</i>	78
Tabela 8 - Resultados do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson para o conjunto de variáveis analisados em cada uma das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) deste estudo.	84
Tabela 9 - Concentração de pigmentos por espécies.....	92

RESUMO GERAL

Nas últimas décadas, têm-se observado no Brasil situações alarmantes a respeito da devastação dos biomas no país, principalmente em relação ao Bioma Cerrado, que tem sido suprimido de maneira progressiva em decorrência do crescimento urbano e do avanço da fronteira agropecuária, modificando de modo expressivo o seu perfil e resultando em uma gama de fatores negativos que tem levado, dentre outras questões, à perda de biodiversidade, comprometendo assim, a estabilidade dos ecossistemas. Esses fatores têm levado o governo a pressionar e cobrar ações de impacto que possibilitem a mitigação de danos ambientais, visando medidas de conservação e recuperação de áreas degradadas em todo território nacional. Neste âmbito, diversos pesquisadores têm empenhado significativos esforços visando compreender a dinâmica de funcionamento e organização dos ecossistemas para a conservação da qualidade ambiental. Atualmente, o avanço de tecnologias referentes ao Sensoriamento Remoto da vegetação tem possibilitado a integração entre dados de campo e dados obtidos remotamente, tornando-se uma poderosa ferramenta de gestão ambiental. Desta forma, esta dissertação foi dividida em três capítulos, sendo o primeiro um capítulo introdutório, abordando uma revisão de literatura sobre o tema. O segundo capítulo objetivou analisar a potencialidade da Classificação Orientada a Objetos em dados de alta resolução espacial SPOT 5 na discriminação e no mapeamento de classes de vegetação do Bioma Cerrado, enquanto que no capítulo três o intuito foi avaliar a aplicabilidade do Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-RES* na análise de concentração de pigmentos fotossintéticos de espécies florestais de maior Valor de Importância (VI) pertencentes a um fragmento de Cerrado *Stricto Sensu* localizado no município de Cuiabá- MT. Os resultados obtidos nesses estudos foram bastante satisfatórios. A Classificação Orientada a Objetos mostrou-se muito superior em comparação às técnicas de classificação mais usuais, obtendo um índice *Kappa* de 0,92. Resultados satisfatórios foram obtidos também para as análises relacionando espectrorradiometria foliar de

espécies do Bioma Cerrado com concentração de pigmentos fotossintéticos. Os resultados indicaram uma alta relação entre essas duas variáveis, indicando assim, uma ótima aplicabilidade do Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-RES* em estudos relacionados à fisiologia vegetal.

Palavras-chave: Bioma Cerrado, OBIA, Espectrorradiometria, Pigmentos fotossintéticos.

ABSTRACT

In recent decades, it has been observed in Brazil an alarming situation regarding the devastation of biomes in the country, especially in relation to the Cerrado biome, due to the advance of the agricultural frontier. This has modified its profile, resulting in a range of negative factors that has led, among other issues, to the loss of biodiversity, thus compromising the stability of ecosystems. These factors have led the government to press and levy impact actions, enabling the mitigation of environmental damage, aiming at its conservation and reclamation nationwide. In this context, several researchers have dedicated significant efforts to understand the dynamics of the organization and functioning of ecosystems for the conservation of environmental quality. Currently, the advancement of technologies related to remote sensing of vegetation has enabled the integration of field data and data remotely, making it a powerful tool for environmental management. Thus, this research has been divided into three chapters, the first being an introductory chapter, addressing a literature review on the topic. The second chapter aimed to analyze the capability of Object-Oriented Classification of data with high spatial resolution SPOT 5 in discrimination and mapping of vegetation classes in Cerrado Biome. In chapter three the aim was to evaluate the applicability of *Spectroradiometer Fieldspec 4 Standard-RES* in the study of the physiology of forest species of greatest Importance Value (IV) belonging to a fragment of Cerrado *Stricto Sensu* in the municipality of Cuiabá-MT relating spectral response with content of leaf pigments extracted in the laboratory. The results obtained in these studies were quite satisfactory. The Object-Oriented Classification proved far superior compared to the more usual classification techniques, obtaining a Kappa coefficient of 0.92. Satisfactory results were also obtained for the analyzes relating spectroradiometry leaf species from the Cerrado biome with concentration of photosynthetic pigments. The results indicated a high correlation between these two variables, thus indicating a great applicability of

Spectroradiometer Fieldspec 4 Standard-RES in studies related to plant physiology

Key-Words: Cerrado Biome, OBIA, Spectroradiometry, Photosynthetic pigments.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Considerado o segundo maior bioma brasileiro, ocupando uma área de aproximadamente 22% em relação ao território nacional e abrangendo 12 estados da federação, o Bioma Cerrado configura-se como um dos maiores e mais ricos ambientes de savana do mundo. (RATTER, 1992).

Conhecido pela grande diversidade vegetal que compõe o extrato arbóreo, esse bioma apresenta uma variada composição fisionômica, englobando formações florestais e campestres, que se subdividem em diversas fitofisionomias (FELFILI e SILVA JÚNIOR, 2005; FELFILI et al., 2005).

O conhecimento dos componentes bióticos e abióticos que compõem essas áreas, bem como as inter-relações entre os mesmos, apresenta-se como um dos fatores mais importantes para o entendimento da dinâmica ambiental, sendo, portanto, imprescindível nas tomadas de decisões em relação a melhor forma de manejo, conservação ou recuperação destes ambientes (FINGER, 2008).

Nas últimas décadas têm-se observado o avanço progressivo da supressão e degradação do cerrado brasileiro, muito devido à expansão urbana, mas principalmente pelo avanço da fronteira agropecuária, impactando de forma drástica extensas áreas de ecossistemas naturais presentes neste bioma e substituindo gradativamente a paisagem por um mosaico homogêneo composto por pasto e áreas de cultivos de grãos (SANTOS et al., 2010).

Por outro lado, existe uma grande preocupação no âmbito de se adotar ações de impacto para que áreas remanescentes do Bioma Cerrado sejam conservadas, ou recuperadas, no caso de áreas já degradadas (FINGER, 2008).

Neste contexto, a utilização de geotecnologias caracteriza-se como um poderoso instrumento no estudo de ambientes naturais. O

desenvolvimento de ferramentas e análises de geoprocessamento em dados adquiridos por Sensoriamento Remoto tem evoluído de modo exponencial (MOREIRA, 2011).

Nunes (2008) cita que dados oriundos de Sensoriamento Remoto constituem ferramentas essenciais na coleta e análises de informações acerca da vegetação, dando suporte, portanto, em planejamento de ações futuras voltadas às práticas conservacionistas.

Considerando a importância do Cerrado em termos de biodiversidade e manutenção de ecossistemas, este trabalho teve como objetivo contribuir para os estudos de mapeamento orbital e suborbital deste bioma. Para tanto, foi realizada primeiramente, uma classificação digital em imagens de alta resolução espacial SPOT 5 utilizando algoritmos de Classificação Orientada a Objetos. Com os resultados desta classificação, puderam ser discriminadas as tipologias existentes em uma área de Cerrado *Stricto Sensu*. Em um segundo momento, foram coletadas, por meio do uso do Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-Res*, assinaturas espectrais das espécies de maior valor de importância na área de Cerrado *Stricto Sensu*, as quais foram identificadas por meio de levantamento fitossociológico.

Concomitantemente a isso, foi analisada também, em laboratório, a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenoides) presentes nas folhas cujas leituras espectrais foram efetuadas no intuito de analisar a relação entre concentração de pigmentos e a curva espectral gerada.

Os resultados obtidos por meio da coleta das assinaturas espectrais dessas espécies poderão ser utilizados, também, como referências para posteriores pesquisas regionais relacionadas com o Sensoriamento Remoto Multiespectral e Hiperespectral da vegetação de Bioma Cerrado, uma vez que fica documentada neste estudo uma biblioteca espectral de referência para essas espécies

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Considerando o momento atual de ocupação e uso do solo em áreas do Bioma Cerrado, frente à pressão em relação ao avanço da agropecuária no estado de Mato Grosso e ainda a falta de aspectos técnicos científicos para instituir unidades de conservação neste bioma, este trabalho teve como objetivo principal:

Contribuir para o mapeamento de tipologias de cerrado presentes em uma área de 605.65 ha localizada no município de Cuiabá-MT, utilizando técnicas avançadas de processamento digital e espectrorradiometria foliar.

2.2 Objetivos Específicos

- Classificar as tipologias presentes em uma área de cerrado da baixada cuiabana utilizando a técnica de Classificação Orientada a Objetos.
- Analisar o comportamento espectral das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) identificadas por meio de levantamento fitossociológico, utilizando Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard* -Res.
- Quantificar a concentração de pigmentos fotossintéticos como clorofilas a, b e carotenoides, contidos em cada uma das espécies de maior valor de importância encontradas na área de Cerrado *Stricto Sensu*.
- Analisar o comportamento da curva espectral das espécies em função da concentração de pigmentos fotossintéticos.

Capítulo I

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

Este capítulo teve como objetivo realizar uma revisão de literatura para o tema proposto neste trabalho. Desta forma, o texto apresenta a caracterização e contextualização da área de estudo, uma revisão sobre o avanço das tecnologias provenientes do Sensoriamento Remoto, técnicas de segmentação e classificação de imagens utilizando algoritmos de Classificação Orientada a Objetos, bem como o comportamento espectral da vegetação e os conceitos envolvendo espectroscopia de reflectância no âmbito das contribuições aos estudos de mapeamento do Bioma Cerrado.

Palavras- chave: OBIA, Cerrado, Espectroscopia, Alta resolução.

ABSTRACT

This chapter aims to perform a literature review for the proposed work in this theme. Thus, the text presents the characteristics and context of the study area, a review of the advancement of technologies provided by Remote Sensing techniques, segmentation and image classification algorithms using Object - Oriented Classification and the spectral behavior of vegetation and concepts involving reflectance spectroscopy in the context of contributions to mapping studies of the Cerrado Biome.

Palavras- chave: OBIA, Cerrado, Spectroscopy, High resolution.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Região do Grupo Cuiabá

A área de estudo encontra-se situada na porção noroeste da Bacia do Rio Cuiabá, inserida na unidade geomorfológica denominada por Almeida (1964) como Baixada Cuiabana ou Depressão Cuiabana (ROSS e SANTOS, 1982).

O clima da região é classificado como AW de *Köppen*, do tipo Tropical Úmido, típico de zonas tropicais presente em cotas inferiores a 400m. A sazonalidade é marcada por uma estação chuvosa e outra seca. O período chuvoso ocorre no verão onde se verificam os índices pluviométricos variando entre 1.000 e 1.500 mm. Na estação seca, em alguns meses a precipitação chega a ser quase nula. A temperatura média anual é de 26°C, sendo junho e julho os meses mais frios do ano quando a temperatura média baixa para 15°C. Nos meses de junho a agosto o clima da região é afetado por frentes frias, que podem baixar a temperatura para menos de 10° C. Embora a umidade relativa do ar varie muito em função da época do ano, encontra-se uma média anual de 74% na região (NIMER, 1979; BARROS et al., 1982)

1.2 Fitofisionomias Presentes na Região de Estudo

A área de estudo desta pesquisa consiste numa região de contato entre distintas fitofisionomias de Cerrado, sendo elas o Cerrado *Stricto Sensu*, Campo Cerrado, a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Estacional Decidual.

1.3 Cerrado *Stricto Sensu*

É considerada a forma savânica mais comum no Brasil Central, ocupando cerca de 70% da área total do Cerrado (FELFILI e SILVA JÚNIOR, 1993). Caracterizada por estratos arbóreos e arbustivos bem definidos, os indivíduos deste tipo florestal apresentam-se espalhados sobre a área de ocorrência e algumas espécies apresentam importantes mecanismos de sobrevivência, como órgãos subterrâneos perenes que permitem a rebrota após queima ou corte (RIBEIRO e WALTER, 2008). As principais espécies que podem ser encontradas no Cerrado *Stricto Sensu* pertencente à região de estudo são: *Qualea parviflora*, *Curatella americana* L., *Davilla elliptica* St. Hill., *Qualea grandiflora* Mart. , *Pterodon emarginatus* Vog., *Lafoensia pacari* St. Hil. , *Diptychandra aurantiaca* Tul., *Myrcia albo-tomentosa*, *Caryocar brasiliense* Camb. , *Byrsonima pachyphylla* Juss., *Byrsonima coccolobifolia* (L.) H.B.K., *Hymenaea stigonocarpa* Mart., *Callisthene fasciculata*, *Luehea paniculata*, *Magonia pubescens* St. Hil. , *Terminalia argentea* Mart. et Succ., *Erythroxylum deciduum* St. Hil., *Couepia grandiflora* e *Pouteria ramiflora* (FINGER, 2008).

1.4 Campo Cerrado

O Campo Cerrado é uma formação campestre de transição entre o Campo Limpo/Sujo e o Cerrado *Stricto Sensu* que, apesar da ocorrência de espécies semelhantes, possui uma cobertura arbórea menor em relação a este último, com predominância de gramíneas e outras herbáceas, apresentando ainda, arbustos mais esparsos. (EITEN, 1994).

Outra característica marcante desta fitofisionomia é a ocorrência anual de queimadas, o que acarreta na alteração da mesma, mesmo que de forma temporária (UHLMANN, 1995).

1.5 Floresta Estacional Semidecidual

De acordo com o IBGE (2012), diferentemente das Florestas ombrófilas, a Floresta Estacional Semidecidual caracteriza-se por apresentar de 20 a 50% de indivíduos caducifólios em relação à população total, sendo tal mecanismo influenciado pela ocorrência de clima estacional, o que determina a semideciduidade da folhagem do dossel. Possuindo duas estações bem definidas, sendo uma época de intensa seca e outra marcada por um período de chuvas acentuado, esse tipo florestal é composto por mesofanerófitos, que na maioria das vezes estão associados a solos areníticos distróficos. Estas matas podem ser encontradas em todos os biomas do país, e no Cerrado estão associados às regiões de relevo ondulado ou montanhoso, geralmente em contato com a Floresta Estacional Decidual. Na área de estudo, as espécies com maior VI (Valor de Importância) encontradas nessas florestas são: *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg, *Cupania vernalis* Cambess., *Ceiba boliviana* Britten & Baker f., *Inga uruguensis* Hooker et Arnott, *Ficus dendrocida* Kunth., *Aspidosperma cylindrocarpon* Müll.Arg., *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March, *Spondias lutea* L. e *Cariniana rubra* Gardner ex Miers (BALDIN, 2011).

1.6 Floresta Estacional Decidual

A Floresta Estacional Decidual distribui-se por todo o país, presente na forma de disjunções. Marcada por uma estação seca e outra chuvosa bem definida, a principal diferença deste tipo florestal em relação à Floresta Estacional Semidecidual é a predominância de indivíduos caducifólios cuja perda de folhagem atinge mais de 50% destes na época desfavorável. Nestas matas encontram-se ainda, macro e mesofanerófitos que compõem o estrato superior. Na área de estudo, os principais gêneros encontrados são: *Anadenanthera* e *Apuleia* (IBGE, 2012).

2 BASE DE DADOS

As imagens de alta resolução espacial adquiridas pelo sensor HRG (*“High Resolution Geometric”*), a bordo do satélite SPOT 5, processada no modo *SuperMode*, permite um novo conceito de imageamento, o qual consiste em duplicar e deslocar em meio pixel os detectores CCD que já existem no modo Pancromático em 5 m de resolução. Tal tecnologia permite que sejam capturadas duas vezes mais informações da área imageada, e por meio do processamento da imagem em estações de controle em terra, possibilita-se via métodos de interpolação, a obtenção de uma resolução espacial de 2,5m. A imagem utilizada para cobrir a área é produto de uma mosaicagem de cenas ortorretificadas adquiridas nos anos de 2008 e 2009. As informações referentes ao sensor estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1 - Características do sensor HRG.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
HRG	PA e <i>Supermode</i>	0,48 - 0,71 μm	5m	26 dias	60km x 60km
	B1	0,50 - 0,59 μm	10m		
	B2	0,61 - 0,68 μm			
	B3	0,78 - 0,89 μm			
	SWIR	1,58 - 1,75 μm			

Fonte: Adaptado de Astrium (2013).

3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O Processamento Digital de Imagens pode ser definido como a manipulação de uma imagem digital por meio de um computador, sendo que a entrada e saída do processo sejam imagens. Seu objetivo principal é ajudar o analista humano na interpretação das feições estruturais que compõem uma determinada imagem a ser utilizada posteriormente para determinada aplicação (FONSECA, 2000).

Ainda segundo os mesmos autores supracitados, as técnicas de PDI se dividem em dois tipos básicos: o realce e a classificação. A primeira inclui técnicas que melhoram a qualidade visual das imagens, resultando em um produto com uma maior capacidade de interpretação das informações as quais se desejam. Já a segunda é entendida como um processo utilizado para extrair informações em imagens de sensoriamento remoto, por meio de reconhecimento de padrões e objetos com características semelhantes, tendo como finalidade o mapeamento de determinada área da superfície terrestre avaliar (MOREIRA, 2011).

O reconhecimento de padrões e objetos semelhantes se dá pelas propriedades espectrais distintas dos diferentes elementos presentes em uma imagem. O agrupamento de feições semelhantes, as quais devem possuir padrões próximos de tonalidade, cor e textura, formam as classes (FIGUEIREDO, 2005).

3.1 Técnicas de classificação

De acordo com Crósta (1992), os métodos de classificação de imagens podem ser divididos em dois grupos: os não supervisionados e os supervisionados. O primeiro consiste em uma classificação onde o próprio algoritmo identifica e separa as classes em uma determinada imagem por agrupamento ou aglomeração de pixels de características semelhantes. Neste sistema o usuário tem uma participação limitada,

informando apenas o número de classes desejáveis ou determinado critério para distinção das mesmas. Já em relação ao segundo método, na classificação supervisionada, o usuário coleta amostras de valores similares entre pixels relativos à determinada classe em uma imagem digital e o software fica responsável por localizar e extrapolar os valores para pixels de mesmos valores, sempre se baseando em regras estatísticas (BELUCO, 2002).

Roeveder (2007), explica que dentro da classificação supervisionada existem duas principais metodologias amplamente utilizadas no meio científico: a classificação “pixel a pixel” e a orientada a objetos.

A primeira é o sistema de classificação mais antigo e mais comumente utilizado, sendo mais adequado em imagens de sensoriamento remoto multispectrais e hiperespectrais, as quais fornecem melhores informações espectrais. Dentre os métodos de classificação pixel a pixel pode-se citar: *Maximum Likelihood Classification* (MLC), *Support Vector Machine* (SVM), *Minimum Distance Classification* (MDC), dentre outros (BISHOP, 2006). Com o aperfeiçoamento na qualidade dos dados obtidos por sensoriamento remoto, principalmente no que diz respeito à resolução espacial das imagens, surge a necessidade do desenvolvimento de algoritmos e técnicas de processamento digital de imagens que sejam capazes de analisar informações que vão além da resposta espectral do pixel, como por exemplo, a forma e textura dos objetos presentes em uma cena. Neste contexto, destaca-se a Classificação Orientada a Objetos como uma das técnicas mais eficazes para este propósito (LIU et al., 2006).

3.1.1 Classificação Orientada a Objetos

Segundo Durkin (1996) o conceito de Orientação a Objeto tem sua origem no desenvolvimento da linguagem de programação *SmallTalk* (linguagem criada na década de 1970, pela empresa norte-americana

Xerox). Tipos de programação como a *Smalltalk* se assemelham a métodos que os humanos utilizam para resolver problemas cotidianos.

Enquanto que os classificadores “pixel a pixel” utilizam somente a informação espectral de cada pixel para estabelecer um agrupamento ou distinção de classes, a análise orientada a objeto leva em conta não somente o valor do mesmo, mas também os objetos e seguimentos presentes em uma imagem. Um objeto em imagens provenientes de sensoriamento remoto pode ser definido como um agrupamento de pixels com propriedades espectral e espacial homogênea (NAVULUR, 2007).

Em estudo utilizando a classificação orientada a objeto para o mapeamento do uso da terra, Antunes (2009) obteve resultados muito superiores se comparados aos métodos tradicionais como classificação pixel a pixel. Duveiller et al. (2008), explicam que os ótimos resultados obtidos no mapeamento do uso e cobertura da terra, utilizando classificadores orientados a objeto, estão diretamente ligados às recentes melhorias obtidas na segmentação de imagens digitais.

A segmentação refere-se ao processo de formação dos objetos em uma imagem, e de acordo com Moreira (2003) é a primeira etapa da classificação, a qual consiste em dividir ou mesmo segmentar a imagem em regiões homogêneas com o intuito de eliminar problemas de subjetividade em classificações supervisionadas. Tal processo consiste em associar os pixels com características semelhantes como forma, textura e área parâmetros espectrais.

Dentre os trabalhos utilizando Classificação Orientada a Objetos e técnicas de segmentação de imagens esta abordagem podem-se citar os realizados por Qi et al. (2012), Nascimento et al., (2013); Gao et al., (2013) e Porter et al., (2013), Alves et al. (2009), Luz et al. (2010) e Pinho (2005).

4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

A vegetação é um dos principais componentes dos ecossistemas. Conhecer a sua dinâmica, a distribuição das espécies, o comportamento fisiológico e morfológico é de suma importância para o entendimento das características climáticas, edáficas geológicas e fisiográficas de uma determinada área de estudo. Nesse contexto, o sensoriamento remoto destaca-se como uma importante ferramenta à análise ambiental. Diversos pesquisadores têm buscado o aprimoramento de técnicas de sensoriamento remoto, como algoritmos de processadores digitais de imagens visando a extração de informações da cobertura vegetal por meio da resposta espectral dos mesmos (Jensen, 2009).

A utilização de tais técnicas vem sendo empregue, principalmente, na coleta e análises de informações sobre o uso do solo, visando o seu planejamento racional e a solução de problemas atuais. Dentre as suas vantagens podem-se citar o menor custo e tempo na obtenção das informações em relação às outras técnicas, a possibilidade de um maior entendimento acerca da configuração e arranjo dos elementos que compõem determinada área a ser estudada e ainda a obtenção de informações capturadas em regiões do espectro eletromagnético além dos limites do visível, como por exemplo, o intervalo que corresponde à região do infravermelho e das micro-ondas (CONGALTON e GREEN, 1999).

O processo que caracteriza a resposta espectral da vegetação se configura de maneira complexa, sendo, principalmente, influenciado por fatores endógenos e exógenos da vegetação. O primeiro diz respeito aos aspectos relacionados à morfologia, anatomia e estrutura do vegetal, enquanto que o segundo envolve os aspectos quantitativos e qualitativos da radiação eletromagnética que incide sobre a vegetação (WATRIN e MACIEL, 2005).

A “aparência” que uma determinada cobertura vegetal apresenta em um determinado produto de sensoriamento remoto, sendo esta em função de diversos fatores ambientais, configura-se como a mais

importante motivação aos estudos relacionados a esta área. Uma vez entendido que o dossel de uma floresta é composto por vários elementos, como folhas, galhos, frutos, etc., pode-se afirmar que o fluxo de radiação incidente nos mesmos terá comportamento distinto, podendo, tal energia, ser espalhada ou absorvida pelo vegetal. Estes dois processos são fortemente relacionados tanto pelas características do fluxo de energia (comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização) como pelas características que constituem tais elementos (PONZONI, 2002).

Dentre todas as partes de um vegetal, as folhas são as que mais contribuem para a análise da resposta espectral captada pelos sensores ópticos (NOVO, 2008). Os componentes foliares como estrutura da folha, o conteúdo de água e a concentração de substâncias químicas afetam diretamente o seu comportamento espectral (FOURTY, 1996). De acordo com Ponzoni (2001), devem-se levar em conta também os parâmetros relacionados à geometria de incidência da energia luminosa.

4.1 Espectroscopia de Reflectância

A espectroscopia é o estudo da radiação eletromagnética em função do comprimento de onda em que está sendo emitida, refletida ou espalhada por um gás, um líquido ou um sólido (CLARK, 1999).

Para ter um melhor entendimento sobre este tema é necessário saber alguns conceitos importantes inerentes ao comportamento espectral dos objetos presentes na superfície terrestre.

O fluxo de energia eletromagnética ao atingir um objeto interage com o material de origem do mesmo, podendo ser refletido, absorvido e transmitido (WATRIN e MACIEL, 2005). Portanto, pode-se definir o comportamento espectral de um objeto como a soma dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como “assinatura espectral do objeto”, a qual define as feições de um objeto (NOVO, 2008)

O conhecimento do comportamento espectral dos objetos terrestres é de suma importância para a escolha da região do espectro sobre o qual se pretende adquirir dados para determinada aplicação (MORAES, 2008).

Com o objetivo de aprimorar as análises de dados de sensoriamento remoto, diversos pesquisadores têm se voltado ao estudo e análises de medidas da reflectância dos objetos presentes na superfície terrestre, utilizando-se de experimentos em campo e laboratório, os quais possibilitam uma melhor compreensão das relações existentes entre o comportamento espectral dos objetos e as suas propriedades. Desta forma, a Espectrorradiometria de Reflectância apresenta-se como uma técnica cuja finalidade é medir a energia eletromagnética refletida da superfície de materiais em diferentes comprimentos de onda e representá-la na forma de um gráfico que se denomina curva de reflectância espectral (PEDROSA et al., 2010).

Um dos principais instrumentos que tem possibilitado o avanço das análises referentes ao comportamento espectral dos objetos é o Espectrorradiômetro de Reflectância, que segundo Moreira (2005), é um instrumento que realiza medidas do Fator de Reflectância (FR) como a razão entre o fluxo refletido pela superfície do alvo/amostra e o fluxo refletido, na mesma geometria, por uma superfície padrão lambertiana, irradiada/iluminada da mesma maneira que a superfície do alvo/amostra.

Segundo Clark (1999), um Espectrorradiômetro pode medir pequenos detalhes em uma faixa mais ampla de comprimento de onda e com maior precisão, em relação a outros sensores. Ainda segundo o mesmo autor, atualmente, tal instrumento vem sendo utilizado no laboratório, no campo, ou a bordo de aeronaves e satélites.

A utilização de tais técnicas vem sendo empregue, principalmente, na coleta e análises de informações sobre o uso do solo, visando o seu planejamento racional e a solução de problemas atuais. Dentre as suas vantagens podem-se citar o menor custo e tempo na obtenção das informações em relação às outras técnicas, a possibilidade de um maior entendimento acerca da configuração e arranjo dos elementos que compõem determinada área a ser estudada e ainda a

obtenção de informações capturadas em regiões do espectro eletromagnético além dos limites do visível, como por exemplo, o intervalo que corresponde à região do infravermelho e das microondas (CONGALTON e GREEN, 1999).

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. **Geologia do Centro-Oeste Mato-Grossense**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, 1964. **Boletim n.216**: 27-44.

ASTRIUM. **Spot satellite imagery: astrium geoinformation services**. 2013. Disponível em <http://www.astriumbrasil.com>, acesso em 07/01/2014.

BAATZ, M.; BENZ, U.; DEGHANI, S.; Heynen, M.; HÖLTJE, A; HOFMANN, P.; LINGENFELDER, I.; MIMLER, M.; SOHLBACH, M.; WEBER, M.; WILLHAUCK, G. **eCognition professional user guide**. Definiens Imaging GmbH: München, Germany, 2004.

BALDIN, A. O. B. **Fitossociologia de uma floresta estacional semidecidual explorada seletivamente, com ocorrência de mogno - swietenia macrophylla king. no bioma cerrado, estado de Mato Grosso**, Brasil. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

BARNSLEY, M. J. e BARR, S. L. **Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 1996. vol. 62, No. 8, pp. 949-958.

BARROS, A. M.; SILVA, R. W.; CARDOSO, O. R. F. A.; FREIRE, F. A.; SOUZA JUNIOR, J. J.; RIVETTI, M.; LUZ, D. S.; PALMEIRA, R. C. B. e TASSINARI, C. C. G. Geologia, Folha SD.21/Cuiabá. BRASIL/Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral, **Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 26)**, Rio de Janeiro, RJ, 1982. p. 25 – 192.

BELUCO, A. **Classificação de imagem de sensoriamento remoto baseada em textura por redes neurais**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. 130 p.

BENZ, U. C.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote

sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2004. v. 58, n. 3-4, p. 239-258.

BISHOP, C. M. **Pattern recognition and machine learning**. Springer, 2006. 780p.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing, **ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2010. pp. 65(1): 2-16.

CLARK, R.N. Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy, In: A.N.Rencz (ed.). **Manual of Remote Sensing**, Chapter 1, John Wiley and Sons, Nova Iorque, 1999. pp. 3-58.

CONGALTON, R. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**. 1991. pp. 35–46.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Lewis Publishers - Nova Iorque, 1999. 136p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992.170p.

DEFINIENS, A. G. **Definiens Developer 7. Reference Book**. 2007. v. 7. 195p.

DURKIN, J. Expert systems: A view of the field. **IEEE Expert-Intelligent Systems & Their Applications**. 1996. v. 11, pp. 56-63.

EITEN, G. **Vegetação do cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva**. Universidade de Brasília, 1994. 681p.

EVANS, T. L.; COSTA, M.; TELMER, K.; SILVA, T. S. F. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT 2 to map land cover and seasonal inundation in the Brazilian Pantanal. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**. 2010. v.3, pp.560-575.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C., REZENDE, A. V., MACHADO B. W. T.; SILVA, P. E. .N.; HAY J. D. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do Cerrado *Stricto Sensu* na Chapada Pratinha, Brasil. **Acta botanica Brasilica**. 1993. 6 (2):pp. 27-46.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Brasília: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2005. 60p.

FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C. Diversidade alfa e beta no Cerrado *Stricto Sensu*, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: Scariot,

A.; Sousa-Silva, J.C.; Felfili, J.M. (Org). **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 439p.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005.

FINGER, Z. **Fitossociologia de comunidades arbóreas em savanas do Brasil central**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2008. 260 p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. São José dos Campos: INPE, 2000.

FOURTY, T. H.; BARET, F.; JACQUEMOUD, S.; SCHMUCK, G. & VERDEBOUT, J. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. **Remote Sensing of Environment**. 1996. 56: 104-117.

FU, H.; MA, H.; XIAO, H. Real-time accurate crowd counting based on RGB-D information. Image Processing. **19th IEEE International Conference**. 2012. 2685p.

GAO, W.; STEIN, A.; YANG, L.; WANG, Y.; FANG, H. Improving representation of Land - use Maps Derived from Object - oriented Image Classification. In: **Transactions in GIS**. 2013. pp. 387-405.

GENELETTI, D.; GORTE, B. G. H. A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photograph, **International Journal of Remote Sensing**, Handbook, 1ª Edição. Island Press. Washington, US, 2003. pp. 1273-1286.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Image objects and geographic objects. In: BLASCHKE, T, LANG S, HAY G J, (Eds), **Object-Based Image Analysis**. Springer, Berlin, 2008. pp. 91-110.

HEROLD, M.; GOLDSTEIN, N. C.; CLARKE. K. C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. **Remote Sensing of Environment**. 2003. pp. 286-302.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2ª Ed. Revista e Ampliada. Rio de Janeiro, 2012. 271p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 604 p. 2009.

LI, H.; PAYNE, W. A.; MICHELS, G. J.; & CHARLES, M. R. Reducing plant abiotic and biotic stress: Drought and attacks of greenbugs, corn leaf aphids and virus disease in dryland sorghum. **Environmental and Experimental Botany**. 2008. Vol. 63, pp. 305–316.

LIU, Y.; LI, M.; MAO, L.; XU, F. Review of remotely sensed imagery classification patterns based on object oriented image analysis. **Chinese Geographical Science**. 2006. Vol. 16, Issue 3, pp 282-288.

MORAES, E.C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: DSR/INPE, 2008. Disponível em <http://www.drs.inpe.br/vcsr/apostilas.html>

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4ª Ed., Editora UFV, Viçosa-MG, 2011. 422p.

NASCIMENTO JR, W. R.; SOUZA FILHO, P. W. M. S.; PROISY, L. R. M.; ROSENQVIST, A. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 2012. 117p, pp. 83-93.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil: Recursos naturais e meio ambiente**, v.4, 421p. Rio de Janeiro: SUPREN, 1979.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3ed. São Paulo, 2008.

NUNES, G. M. **Sensoriamento Remoto Aplicado na Análise da Cobertura Vegetal das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá**. 2008. Instituto de Geociências/UNICAMP, Campinas. Tese de Doutorado, 2008, 176 p.

PEDROSA, S. A.; MENDES, P. R.; CARMELO, A. C. Espectrorradiometria de reflectância de rochas carbonáticas na região do infravermelho de ondas curtas. **Revista brasileira de geociências**. 2010. v.40, n.4, pp. 593-599.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem QuickBird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. 2005. pp.. 4225 – 4232. CD-ROM.

PLATT, R. V.; RAPOZA, L. M. An evaluation of an object-oriented paradigm for land use/landcover classification. **Professional Geographer**, 2008. pp. 60(1): 87-100.

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.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos: INPE, 2002. 25p.

PORTER, S.; LINDERMAN, M. Historic land cover change in the agricultural Midwest using an object-based approach for classification of

high-resolution imagery. **Journal of Applied Remote Sensing**, 2013. vol. 7.

QI, Z.; GAR-ON Yeh, A.; LI, X.; LIN, Z. A novel algorithm for land use and land cover classification using RADARSAT-2 polarimetric SAR data. **Remote Sensing of Environment**. 2012. vol. 118.

RATTER, J. A. Transitions between cerrado and forest vegetation in Brasil. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR, J.; RATTER, J. A. (Eds.) **Nature and dynamics of forest savanna boundaries**. London: Chapman & Hall. 1992. p. 51-76.

RENÓ, V. F.; NOVO, E. M. L. M.; SUEMITSU, C.; RENNÓ, C. D.; SILVA, T. S. F. Assessment of deforestation in the Lower Amazon floodplain using historical Landsat MSS/TM imagery. **Remote Sensing of Environment**. 2011. v.115, p.3446–3456,

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In **Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2008. p.151-213

ROVEDDER, J. **Validação da classificação orientada a objetos em imagens de satélite Ikonos II e elaboração de indicadores ambientais georreferenciados no município de Torres, Planície Costeira do Rio Grande do Sul**, Brasil. 2007. 79p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - PPGSR – CEPSSRM/UFRGS, Porto Alegre.

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. Folha SD 21 Cuiabá, Geologia. In: **Radambrasil**, Rio de Janeiro, 1982. vol. 26.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15n) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, 2010. v.34, p. 1185-1194.

TANSEY, K.; CHAMBERS, I.; ANSTEE, A.; DENNIS, A.; LAMB, A. Object-oriented classification of very high resolution airborne imagery for the extraction of hedgerows and field margin cover in agricultural areas. **Applied geography**. 2009. 29, pp. 145-157.

UHLMANN, A. **Análise fitossociológica de três categorias fisionômicas no Parque Estadual do Cerrado**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995. 153 p.

WANG, L.; SOUSA, W. P.; GONG, P. Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 2004. pp. 25 (24), 565-5668.

WATRIN, O. S.; MACIEL, M. N. M. **Introdução em técnicas de sensoriamento remoto**. Belém: UFRA, 2005. 50p.

WATTS, J. D.; LAWRENCE, R. L.; MILLER, P. R.; MONTAGNE, C. Monitoring of cropland practices for carbon sequestration purposes in north central Montana by Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, 2009. pp. 113, 1843-1852.

ZHOU, W.; TROY, A.; GROVE, M. Modeling residential lawn fertilization practices: Integrating high resolution remote sensing with socioeconomic data. **Environmental Management**. 2008. pp. 41:742-752.

CAPITULO II

POTENCIALIDADES DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS EM IMAGENS SPOT5 NO MAPEAMENTO DE FITOFISIONOMIAS DO CERRADO

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi aplicar a Classificação Orientada a Objetos em imagem de alta resolução espacial SPOT 5 no modo *Supermode*, para a discriminação e classificação de fitofisionomias existentes no Bioma Cerrado. Para este estudo, foram avaliadas as seguintes classes: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Campo Cerrado, Cerrado *Stricto Sensu* e Área Antropizada. Primeiramente, foi realizada a segmentação de objetos na imagem para posterior classificação. Para tanto, foram utilizados parâmetros de escala com valores de 60, 50 e 10, sendo cada uma pertinente ao melhor delineamento dos objetos pertencentes às classes encontradas na área de estudo. Para a classificação da imagem foi utilizado o algoritmo de atribuição de classes (*Assign Class*), seguido por descritores de Média, Área e Distância. Para a validação do resultado da classificação, foi gerada uma matriz de confusão para avaliar a acurácia do produto final, a qual foi verificada por meio do coeficiente de Exatidão Global e do índice de concordância *Kappa*. Os valores obtidos para estes foram de 94% e 0,92, respectivamente, o que comprovam o ótimo desempenho do classificador na discriminação de fitofisionomias do Cerrado, contribuindo, desta forma, para estudos voltados ao mapeamento deste bioma.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Vegetação, Segmentação, Alta Resolução.

ABSTRACT

The performance of the Object-Oriented Classification in high spatial resolution remote sensed image was assessed for discriminating native vegetation classes in fragments of the Cerrado Biome. For this aim, a SPOT 5 SUPERMODE image was used for classifying the following phytophysiological classes: Semideciduous forest, Deciduous forest, Cerrado Field, Cerrado *Stricto Sensu* and Anthropized area . As the first step, the image was segmented in objects for subsequent classification. For doing that, scaling parameters with values of 60, 50, 10 were used for each of the mentioned phytophysiological class. These objects were further classified in their respective classes by using the algorithm Assign Class, considering the attributes of average, area and distance from the right edge of the scene. A confusion matrix was used to assess the accuracy of the classification, using the overall accuracy coefficient and the Kappa index of agreement. Overall accuracy for mapping was 94%, with Kappa coefficient of 0.92. This excellent performance demonstrates the applicability of the classifier in discriminating native vegetation type in fragments of Cerrado Biome.

Key-Words: Sensoriamento Remoto, Vegetação, Segmentação, Alta Resolução.

1 INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado possui cerca de 203 milhões de hectares de área, ocupando a porção central do Brasil. É classificado como o segundo maior bioma do país e da América do Sul. Por abrigar uma expressiva diversidade de recursos naturais que estão adaptados às suas características de clima e de solo, o Bioma Cerrado é considerado como a maior savana do mundo (IBAMA, 2002).

De acordo com Souza et. al (2009), podem ser encontrados neste bioma tipos fisionômicos que incluem formações florestais, savânicas e campestres, sendo que para cada uma destas existem ainda diversas fitofisionomias.

Spínola et. al (2007), explicam que o Cerrado vem sofrendo intenso processo de supressão florestal ocasionado pela intensa expansão agrícola, uma vez que possui características físico-químicas de solo mais atrativas para esta atividade em relação ao Bioma Amazônia, além de estar mais próximo aos grandes polos indústrias. Como resultado, o quadro atual do Bioma Cerrado pode ser descrito em termos gerais como um gigantesco mosaico de manchas de vegetação nativa de diferentes constituições, tamanhos, formas e distâncias, imersas em uma matriz de uso agropecuário, uma situação que ameaça fortemente a manutenção da sua biodiversidade (RATTER, 1997; CARVALHO et. al, 2009).

Assim, um dos desafios é estabelecer áreas prioritárias para a conservação no Bioma Cerrado, visando à manutenção de serviços ecológicos em grande escala como, por exemplo, manutenção da biodiversidade, recursos hídricos, abrigo da fauna silvestre e de espécies endêmicas. Para tanto, torna-se fundamental identificar e mapear fitofisionomias presentes nas manchas remanescentes para, posteriormente, dentro de um contexto de planejamento ecológico de paisagens, avaliar sua relevância em termos de dinâmica populacional,

riqueza de espécies e conectividade dentro da rede formada pelos fragmentos remanescentes (LEITÃO et. al , 2006).

Nesse aspecto, o avanço de tecnologias referentes ao Sensoriamento Remoto da vegetação tem se consagrado como uma das ferramentas mais importantes para esse propósito, possibilitando ótimos resultados no mapeamento da vegetação (JENSEN, 2009).

Com o aperfeiçoamento na qualidade dos dados obtidos por Sensoriamento Remoto, principalmente no que se diz respeito à resolução espacial das imagens, bem como no desenvolvimento de algoritmos e técnicas de processamento digital de imagens capazes de obter ótimos resultados no âmbito do mapeamento da vegetação, a metodologia de classificação de imagens Orientada a Objetos em imagens de alta resolução espacial tem se mostrado muito superior em relação às técnicas mais usuais (LIU et. al, 2006).

A Classificação Orientada a Objetos ou OBIA (*Object-based Image Analysis*), tem obtido resultados superiores no processamento digital de imagens obtidas por Sensoriamento Remoto, uma vez que esta metodologia consiste em analisar parâmetros que vão além da resposta espectral do pixel, como textura e forma dos objetos que compõem uma determinada cena em uma imagem (WATTS et. al, 2009).

Esta metodologia tem sido bastante aplicada no monitoramento ambiental, principalmente em estudos relacionados ao mapeamento de uso e ocupação do solo, podendo citar os trabalhos desenvolvidos por Barnsley e Barr (1996); Blaschke (2010); Hay e Castilla (2008); Herold et al. (2003); Platt e Rapoza (2008); Tansey et al. (2009); Wang et al. (2004); Zhou e Troy (2008).

Um dos processos chaves responsáveis pelo sucesso desse classificador é a técnica de segmentação dos objetos presentes em uma imagem (BENZ et. al, 2004). A Segmentação é a primeira etapa do processo de Classificação Orientada a Objetos. Realizada por meio de algoritmos computacionais, seu objetivo consiste basicamente em identificar e particionar homoganeamente objetos em uma determinada imagem, sendo que o resultado final deste processo irá influenciar

diretamente a qualidade do produto obtido na classificação (FU et. al, 2012).

Dentre as técnicas de segmentação existentes, destacam-se três grandes grupos: a Segmentação por Descontinuidade, a qual segmenta uma imagem levando em conta variações abruptas dos níveis de cinza presentes na mesma; a Segmentação por Similaridade, cujo processo consiste no agrupamento contínuo de pixels a partir de parâmetros fornecidos previamente pelo analista); a Segmentação *Quad Tree* (divide uma imagem partindo de quadrados maiores a quadrados menores, até atingir um limite de heterogeneidade espectral de objetos que é definido pelo analista), e por fim a Segmentação *MultiResolution*, cujo processo é obtido a partir de 3 parâmetros : escala (dimensão dos objetos), cor (informação espectral) e forma (compacidade e suavidade) (DEFINIENS, 2007; PINHO, 2005).

De acordo com Baatz et. al (2004), o parâmetro de escala está relacionado com o tamanho dos objetos a serem segmentados, determinando desta forma o grau de heterogeneidade dos mesmos em uma imagem, ou seja, valores de escala maiores irão gerar objetos maiores. O parâmetro de forma é expresso por outros dois parâmetros :compacidade e suavidade. O primeiro diz respeito à relação entre a área do objeto e o seu raio de circunferência abrangente, enquanto que o segundo leva em conta o limite entre os objetos. Para Evans et al. (2010), quanto mais fractal for uma imagem maior será o valor de forma aplicado.

Fu et. al (2012), obteve ótimos resultados com a Classificação Orientada a Objetos em imagens de alta resolução espacial no mapeamento de uso e ocupação do solo quando comparada a métodos de classificação pixel a pixel. Os autores deste trabalho afirmam ainda que grande parte da eficácia obtida no produto final da classificação foi obtida pelo processo de segmentação, onde foram utilizadas diferentes técnicas de processamento digital de imagens no delineamento dos objetos.

Dentre outros estudos utilizando a Classificação Orientada a Objetos em dados de Sensoriamento Remoto, podem-se citar os trabalhos desenvolvidos por Geneletti e Gorte (2003); Li et al., (2012)

;Watts et al., (2009); Reno et al. (2011), Qi et al. (2012), Nascimento et al., (2013); Gao et al., (2013) e Porter et al., (2013).

Desta forma, o objetivo deste capítulo foi avaliar o desempenho da Classificação Orientada a Objetos na discriminação de diferentes classes de vegetação de Cerrado localizadas no município de Cuiabá-MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo está inserida na porção central do continente sul-americano, localizada no município de Cuiabá, estado de Mato Grosso - MT, no Centro-Oeste brasileiro. Especificamente, situa-se na porção noroeste da bacia do Rio Cuiabá, inserida na unidade geomorfológica Baixada Cuiabana (ALMEIDA, 1964) ou Depressão Cuiabana (ROSS e SANTOS, 1982). Com uma extensão aproximada de 6.683 ha, essa área compreende as latitudes entre 15° 10' e 15° 13' e longitudes 56° 0' e 56° 4' (Figura 1).

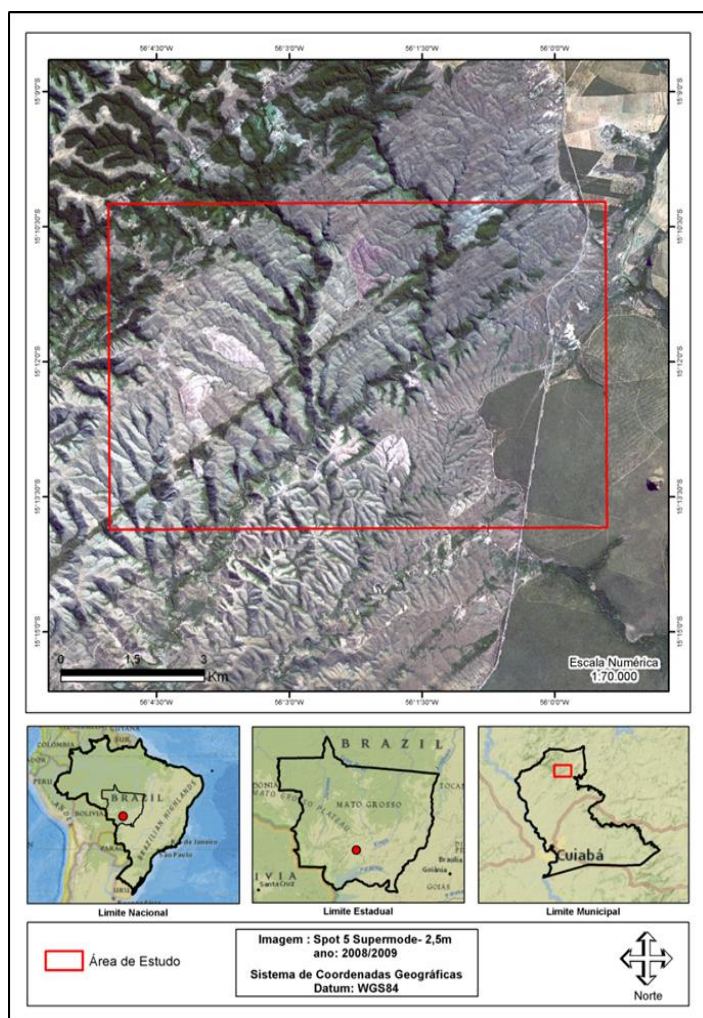


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo.

O clima da região é classificado como AW de *Köppen*, do tipo Tropical Úmido, típico de zonas tropicais presente em cotas inferiores a 400m. Apresenta duas estações bem definidas: a seca que vai de abril a outubro, e a chuvosa que vai de novembro a março, com pluviosidade média anual em torno de 1.350 mm.

A sazonalidade é marcada por estação chuvosa e outra seca. O período chuvoso ocorre no verão onde se verificam os índices pluviométricos variando entre 1.000 e 1.500 mm.

Na estação seca, em alguns meses a precipitação chega a ser quase nula. A temperatura média anual é de 26°C, sendo junho e julho os meses mais frios do ano quando a temperatura média baixa para 15°C.

Com relevo rugoso e solos predominantemente litólicos, a área tem grandes limitações de uso, razão pela qual ainda apresenta extensões relativamente significativas da cobertura vegetal nativa relativamente bem conservada. Essa região tem recebido ainda, destaque pela influência glacial na formação do substrato litológico, onde muitos trabalhos tem demonstrado a presença de fácies glaciogênicas nas rochas do Grupo Cuiabá, considerada como um dos mais importantes registros da glaciação do Proterozóico Superior (FIGUEIREDO, 2006).

2.2 Dados SPOT 5

A imagem utilizada foi recortada de um mosaico de imagens de alta resolução espacial adquiridas pelo sensor HRG (*High Resolution Geometric*), a bordo do satélite SPOT 5. As imagens foram ortorretificadas e processadas no modo *Supermode*, adquiridas nos anos de 2008 e 2009. Com o uso de um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi extraída uma área da imagem com presença de distintas classes de vegetação contrastantes entre si.

2.3 Definição das Classes para o Mapeamento

Por meio de campanhas de campo na região de estudo realizadas no mês de outubro de 2012, a qual teve acompanhamento de especialistas da Universidade Federal de Mato Grosso - foram identificadas as fitofisionomias presentes na área as quais posteriormente foram verificadas e validadas utilizando-se o Manual Técnico da Vegetação Brasileira elaborada pelo IBGE (2012), bem como as classificações de Ribeiro e Walter (2008), da *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2005), além dos mapeamentos produzidos pelo projeto RADAMBRASIL (AMARAL e FONZAR, 1982). Este último documento serviu apenas como orientação devido a não adequabilidade da escala do mapeamento (1:1.000.000) à escala deste trabalho (1:50.000). As descrições e características das classes seguem adiante (Tabela 2):

Tabela 2 – Classes de vegetação presentes na área de estudo.

Tipos de Vegetação	Características	Principais Gêneros/Espécies
Floresta Estacional Semidecidual	Apresentam de 20 a 50% de indivíduos caducifólios em relação à população total. Geralmente ocorrem em solos areníticos distróficos.	<i>Anadenanthera peregrina</i> , <i>Cupania vernalis</i> , <i>Ceiba boliviana</i> , <i>Inga uruguensis</i> , <i>Ficus dendrocida</i> , <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Spondias lutea</i> e <i>Cariniana rubra</i> .
Floresta Estacional Decidual	Caracterizada pela presença de indivíduos caducifólios cuja perda de folhagem atinge mais de 50% na época desfavorável. Distribuem-se na forma de disjunções.	Predomina a ocorrência de espécies dos gêneros <i>Anadenanthera</i> e <i>Apuleia</i> .
Campo Cerrado	Formação campestre de transição entre o Campo Limpo/Sujo e o Cerrado <i>Stricto Sensu</i> . Possui cobertura arbórea menor em relação a este último, com predominância de gramíneas e outras herbáceas, apresentando ainda arbustos mais esparsos.	Predomina a ocorrência de <i>Qualea parviflora</i> , <i>Qualea multiflora</i> , <i>Curatella americana</i> e <i>Davilla elliptica</i> .
Cerrado <i>Stricto Sensu</i>	Formação caracterizada por estratos arbóreos e arbustivos bem definidos.	<i>Qualea parviflora</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Davilla elliptica</i> , <i>Qualea grandiflora</i> , <i>Pterodon emarginatus</i> , <i>Lafoensia pacari</i> , <i>Diptychandra aurantiaca</i> , <i>Myrcia albo-tomentosa</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Byrsonima pachyphylla</i> , <i>Byrsonima coccolobifolia</i> , <i>Hymenaea stigonocarpa</i> , <i>Callisthene fasciculata</i> , <i>Luehea paniculata</i> , <i>Magonia pubescens</i> , <i>Terminalia argentea</i> , <i>Erythroxylum deciduum</i> , <i>Couepia grandiflora</i> e <i>Pouteria ramiflora</i> .

2.4 Análise e Processamento dos Dados

Para o processo de classificação digital na imagem foi realizado, primeiramente, o processo de segmentação dos objetos. Para tanto, foi utilizado o parâmetro hierárquico, partindo da segmentação de objetos maiores para objetos menores. Segundo Pratt (2007), por mais que se obtenha um ótimo resultado na segmentação de objetos, esta técnica não dispensa o analista humano, que ainda continua sendo a peça chave para a avaliação dos resultados finais da segmentação. Os parâmetros de escala, portanto, foram estabelecidos em: 60, 50, 10, seguidos dos critérios de forma e compacidade definidos como 0.1 e 0.5, respectivamente.

Para os parâmetros de cor e forma são atribuídos valores que variam de 0 a 1. O usuário, portanto, fornece um limiar máximo de similaridade o qual é utilizado como parâmetro para o teste e o cálculo da diferença entre os valores dos atributos de duas regiões. Logo, as regiões são agrupadas, uma vez se o valor verificado for inferior ao limiar estabelecido.

O critério de forma é composto por dois parâmetros, sendo eles a compacidade e a suavidade. O primeiro é definido pela razão da área do objeto e o raio da circunferência abrangente, enquanto que o segundo expressa o limite entre objetos, onde quanto mais fractal, maior o índice de forma (EVANS et al., 2010; ESCH et al., 2008). As formulações para esses parâmetros podem ser encontrados nos trabalhos de Benz et. al (2004b).

Após a segmentação, o passo seguinte foi classificar os objetos gerados por meio do algoritmo de Atribuição de Classes (Assign Class). Como parâmetros descritores, foram utilizadas características de forma e brilho de cada classe. O descritor de média de brilho (Mean) foi atribuído às seguintes classes: Campo Cerrado, Floresta Estacional Semidecidual e Área Antropizada. As características da relação

área/forma, bem como do posicionamento dos objetos pertencentes à classe Campo Cerrado, permitiram sua classificação através dos descritores: Distância da borda direita da cena (*X Distance to scene right border*) e o de Área (*Area*). Por fim, para a classe Floresta Estacional Decidual o descritor utilizado foi o Não Classificado (*Unclassified*), uma vez que após a classificação dos objetos pertencentes às classes citadas anteriormente, restaram apenas os objetos referentes à Floresta Estacional Decidual (Figura 2).

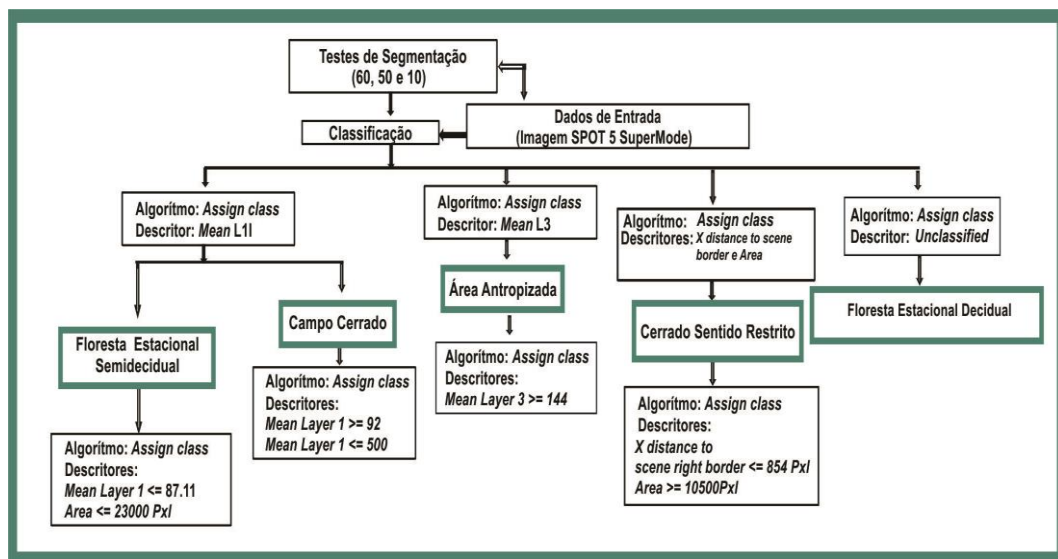


Figura 2 - Sequência dos algoritmos e descritores utilizados no processo de classificação.

2.5 Validação da Classificação

Após o resultado do processo de classificação da imagem, buscou-se o procedimento de validação do produto, que contou com o procedimento de comparação entre as classes geradas no mapeamento e as classes de verdade de campo, ou seja, as presentes na imagem SPOT 5. Para tanto, foram gerados pontos de controles aleatórios distribuídos em ambas às imagens, com a utilização de um software de Processamento Digital de Imagens (PDI). O número de pontos mínimos para produzir um resultado com exatidão de 90% e um erro admissível de

5%, foi calculado como igual a 144, de acordo com a metodologia desenvolvida por Jensen (1996).

Para distribuir os pontos de maneira igualitária e aumentar a confiabilidade do resultado, optou-se por uma amostragem estratificada, com 40 pontos por classe, totalizando 200 pontos de amostragem. Por fim, para a avaliação dos resultados da classificação foi utilizada uma Matriz de Confusão, a qual foi avaliada pelos coeficientes de Exatidão Global e Índice *Kappa*, segundo os conceitos determinados por Landis e Koch (1977), que indicam os níveis de desempenho da classificação quanto a qualidade do produto gerado.

A matriz de confusão é uma matriz quadrada de números que expressam a quantidade de unidades amostrais, associada a uma dada categoria durante o processo de classificação efetuado, e à categoria real a que pertencem essas unidades (CONGALTON, 1991). Esta matriz é utilizada como referência para classificar mapas resultantes da utilização de imagens provenientes do Sensoriamento Remoto.

A tabela desenvolvida por Landis e Koch (1977) (Tabela 3) é utilizada como referência para classificar mapas obtidos pela classificação de imagens de sensoriamento remoto. Nela são apresentados níveis de desempenho da classificação que indicam a qualidade do mapa temático de acordo com o valor de *Kappa* obtido.

Tabela 3 - Classificação de Landis e Kock (1977).

Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade do mapa temático
<0,00	Péssima
0,00-0,20	Ruim
0,20-0,40	Razoável
0,40-0,60	Boa
0,60-0,80	Muito Boa
0,80-1,00	Excelente

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classes que apresentaram os melhores resultados, ou seja, as que apresentaram menor confusão entre classes foram: Campo Cerrado, com 100% de acerto, seguido de Cerrado *Stricto Sensu* e Floresta Estacional Semidecidual, ambas com 97,5% (Figura 3).

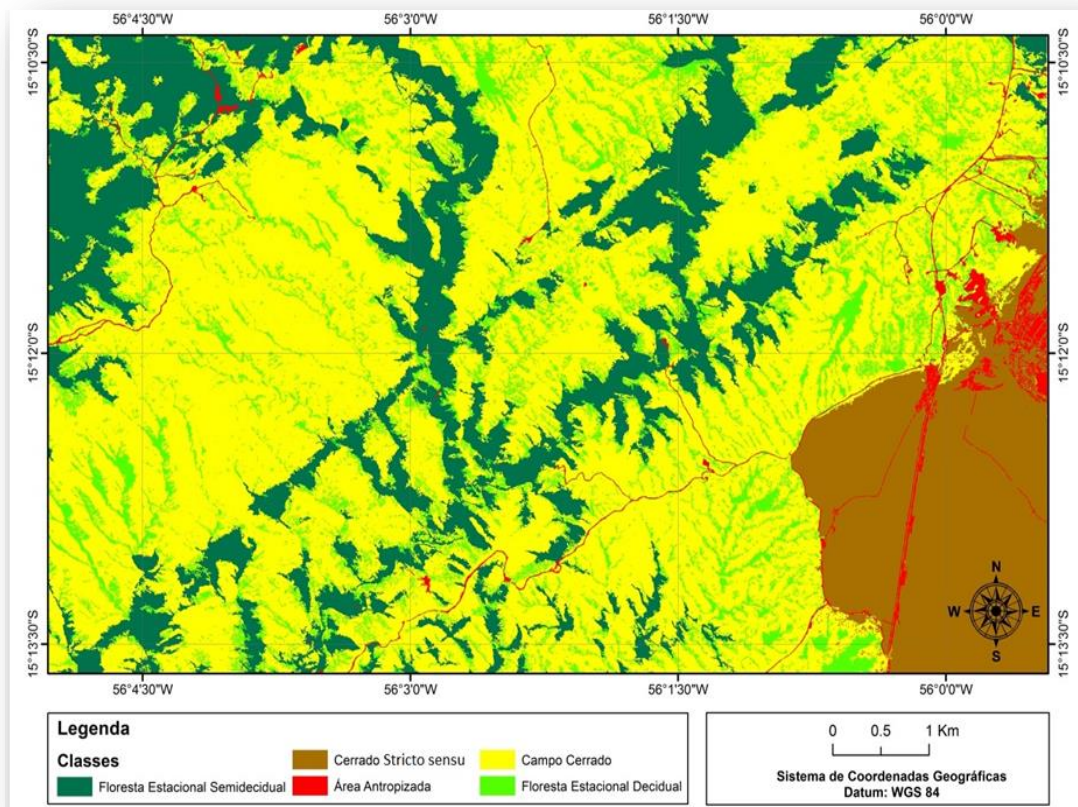


Figura 3 - Mapeamento das classes de vegetação e ocupação do solo na área de estudo resultante da classificação orientada a objeto.

Estes bons resultados podem ser explicados pela melhor separabilidade destas classes para com as outras durante a etapa de segmentação dos objetos.

A classe que gerou maior confusão foi Floresta Estacional Decidual, com 82,5% de acerto. Este resultado inferior quando comparado às outras classes, pode ser entendido pela maior dificuldade para gerar os objetos durante o processo de segmentação, haja vista a

menor proporção área/forma desta classe de vegetação em relação às outras, ainda que se tenha adotado um baixo parâmetro de escala. A mesma análise pode ser aplicada pra a classe Área Antropizada, que obteve 92,5% de acerto.

O fator de escala 60 teve melhor aplicabilidade na discriminação de objetos maiores, como as classes de Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado *Stricto Sensu*, enquanto que o fator 50, embora seja um valor muito próximo ao utilizado na classe anterior, foi o mais adequado para delinear objetos pertencentes à classe Campo Cerrado. O fator de escala 10 foi o que melhor contribuiu para a discriminação de objetos com menor proporção área/forma como estradas e áreas de solo exposto (Área Antropizada), bem como na segmentação da classe Floresta Estacional Decidual.

A matriz de confusão mostrou um índice de Exatidão Global de 94%, sendo que, de um total de 200 pontos amostrados, 188 foram mapeados corretamente. O valor do Coeficiente *Kappa* encontrado foi de 0,92, o que caracteriza a classificação como “Excelente” de acordo com os parâmetros estabelecidos por Landis e Koch (1977). Os resultados da matriz de confusão gerados neste estudo podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da matriz de confusão.

CLASSES	F.E.S	F.E.D	C.C	C.S.S	A.A
F.E.S	39	1	0	0	0
F.E.D	1	33	0	1	0
C.C	0	6	40	0	3
C.S.S	0	0	0	39	0
A.A	0	0	0	0	37
TOTAL	40	40	40	40	40
% ACERTO	97,5	82,5	100	97,5	92,5

Legenda - F.E.S = Floresta Estacional Semidecidual; F.E.D = Floresta Estacional Decidual; C.C = Campo Cerrado; C.S.S = Cerrado *Stricto Sensu* A.A = Área Antropizada.

Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento et al. (2013), no mapeamento de extensão e mudanças estruturais de fitofisionomia de manguezais na Amazônia utilizando sensores distintos.

Esses autores afirmaram ainda que os resultados obtidos com o método de Classificação Orientada a Objetos são compatíveis com uma interpretação visual realizada por um analista humano com grande conhecimento da área de estudo.

Sousa et. al (2010), também alcançaram bons resultados utilizando técnicas de Segmentação Multiresolução e Classificação Orientada a Objetos em dados de alta resolução espacial (*Quickbird*) na discriminação de espécies florestais em uma região em Alentejo, Portugal, sendo comprovados pelos valores *Kappa* obtidos de 79,3% e de 86,5 % para duas situações distintas.

Os resultados deste estudo demonstram a aplicabilidade e viabilidade da utilização de técnicas de segmentação e Classificação Orientada a Objetos em imagens de alta resolução espacial na classificação de fitofisionomias presentes em fragmentos de Cerrado. Tendo em vista os excelentes resultados de acurácia, pode-se considerar a técnica de Classificação Orientada a Objetos como uma ferramenta importantíssima para estudos voltados para a caracterização e mapeamento de fitofisionomias de fragmento não apenas no Cerrado, mas em outros biomas, contribuindo assim, para o entendimento da dinâmica destes ambientes. Resultados como estes servem de alicerce para tomadas de decisões inerentes à melhor forma de manejo em ambientes em escalas ecossistêmicas.

O sucesso da classificação orientada a objetos revelado neste estudo pode ser creditado à conjunção de dois fatores inter-relacionados: domínio da distribuição das tipologias da vegetação em campo e domínio das regras de classificação. O primeiro se refere à experiência e à capacidade de observação do analista, enquanto o segundo se refere à habilidade de traduzir estes aspectos cognitivos em regras de classificação eficientes.

4 CONCLUSÃO

Os algoritmos e descritores utilizados neste trabalho foram eficazes na separação das classes de vegetação presentes na imagem SPOT 5. O descritor *Mean* do algoritmo *Assign Class* provou-se bastante adequado na distinção das classes Floresta Estacional Semidecidual, Campo Cerrado e Área Antropizada, enquanto os descritores *Distance X to the right border scene* em conjunto com o descritor *Area* conseguiram separar a classe Cerrado *Stricto Sensu* de modo muito eficaz.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. Geologia do Centro-Oeste Mato-Grossense. Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, 1964. **Boletim n.216**: 27-44.

AMARAL, D. L.; FONZAR, B. C. Vegetação. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. 1982. Folha SD 21 Cuiabá. Rio de Janeiro, pp.401- 452.

ANTUNES, A. F. B.; LUZ, N. B. Classificação orientada a objetos de imagens Spot-5 com a finalidade de mapeamento do uso da terra. In. **Anais**. 2009. pp. 909-917.

BAATZ, M.; BENZ, U.; DEGHANI, S.; Heynen, M.; HÖLTJE, A; HOFMANN, P.; LINGENFELDER, I.; MIMLER, M.; SOHLBACH, M.; WEBER, M.; WILLHAUCK, G. **eCognition professional user guide**. Definiens Imaging GmbH: München, Germany, 2004..

BALDIN, A. O. B. **Fitossociologia de uma floresta estacional semidecidual explorada seletivamente, com ocorrência de mogno - swietenia macrophylla king. no bioma cerrado, estado de Mato Grosso, Brasil**. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

BARNSLEY, M. J. e BARR, S. L. **Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 1996. vol. 62, No. 8, pp. 949-958.

BENZ, U. C.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2004. v. 58, n. 3-4, p. 239-258

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing, **ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2010. pp. 65(1): 2-16.

CARVALHO, F. M. V.; MARCO JÚNIOR, P.; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*. 2009. n^o 142, pp. 1392-1403.

CONGALTON, R. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**. 1991. pp. 35–46.

DEFINIENS, A. G. **Definiens Developer 7. Reference Book**. 2007. v. 7. 195p.

DURKIN, J. Expert systems: A view of the field. **IEEE Expert-Intelligent Systems e Their Applications**, 1996. v. 11, pp. 56-63.

EITEN, G. **Vegetação do Cerrado: caracterização, ocupação e perspectiva**. Universidade de Brasília, 1994.681p.

ESCH, T.; THIEI, M.; BOCK, M.; ROTH, A. DECH, S. Improvement of image segmentation accuracy based on multiscale optimization procedure. **IEEE Geoscience Remote Sensing Letters**, 2008. v.5, p.463-467.

EVANS, T. L.; COSTA, M.; TELMER, K.; SILVA, T. S. F. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to map land cover and seasonal inundation in the Brazilian Pantanal. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**. 2010. v.3, pp.560-575.

FAO (2005). **State of the World's Forests**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5574e/y5574e00.pdf>, acesso em: 21/06/2013.

FIGUEIREDO, M. F. **Quimioestratigrafia das rochas ediacarianas do extremo norte da Faixa Paraguai, Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – SP, 2006. 105p.

FINGER, Z. **Fitossociologia de comunidades arbóreas em savanas do Brasil central**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2008. 260 p.

FU, H.; MA, H.; XIAO, H. Real-time accurate crowd counting based on RGB-D information. Image Processing. **19th IEEE International Conference**. 2012. 2685p.

GAO, W.; STEIN, A.; YANG, L.; WANG, Y.; FANG, H. Improving representation of Land - use Maps Derived from Object - oriented Image Classification. In: **Transactions in GIS**. 2013. pp. 387-405.

GENELETTI, D.; GORTE, B. G. H. A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photograph, **International Journal of Remote Sensing**, Handbook, 1ª Edição. Island Press. Washington, US, 2003. pp. 1273-1286.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Image objects and geographic objects. In: BLASCHKE, T, LANG S, HAY G J, (Eds), **Object-Based Image Analysis**. Springer, Berlin, 2008. pp. 91-110.

HEROLD, M.; GOLDSTEIN, N. C.; CLARKE. K. C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. **Remote Sensing of Environment**. 2003. pp. 286-302.

IBGE **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 2004: Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 12 Nov. 2013.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2ª Ed. Revista e Ampliada. Rio de Janeiro, 2012. 271p.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 1996. 2 ed. 316 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 604 p. 2009.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 1977. vol.33, n.1, pp. 159-174, 1977.

LEITÃO, A. B.; MILLER, J.; AHERN, J.; MCGARIGAL, K. **Measuring Landscapes: A Planner's**. 2006.

LI, C. S.; GUOFAN, T. I. Object-oriented classification of land use/cover using digital aerial orthophotography. **International journal of remote sensing**, 2012. vol. 33.

LIU, Y.; LI, M.; MAO, L.; XU, F. Review of remotely sensed imagery classification patterns based on object oriented image analysis. **Chinese Geographical Science**. 2006. Vol. 16, Issue 3, pp 282-288.

MONTEIRO, A.; LINGNAU, C.; SOUZA JÚNIOR, C. Classificação orientada a objeto para detecção da exploração seletiva de madeira na Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**. 2007. nº 59/03225 p.

NASCIMENTO JR, W. R.; SOUZA FILHO, P. W. M. S.; PROISY, L. R. M.; ROSENQVIST, A. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 2012. 117p, pp. 83-93.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem QuickBird. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. 2005. pp.. 4225 – 4232. CD-ROM.

PLATT, R. V.; RAPOZA, L. M. An evaluation of an object-oriented paradigm for land use/landcover classification. **Professional Geographer**, 2008. pp. 60(1): 87-100.

PORTER, S.; LINDERMAN, M. Historic land cover change in the agricultural Midwest using an object-based approach for classification of high-resolution imagery. **Journal of Applied Remote Sensing**, 2013. vol. 7.

PRATT, W. Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside. **Wiley-Interscience publication**. 2007. 4 edition.

QI, Z.; GAR-ON Yeh, A.; LI, X.; LIN, Z. A novel algorithm for land use and land cover classification using RADARSAT-2 polarimetric SAR data. **Remote Sensing of Environment**. 2012. vol. 118.

RATTER, J. A. Transitions between cerrado and forest vegetation in Brasil. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR, J.; RATTER, J. A. (Eds.) **Nature and dynamics of forest savanna boundaries**. London: Chapman & Hall. 1992. p. 51-76.

RENÓ, V. F.; NOVO, E. M. L. M.; SUEMITSU, C.; RENNÓ, C. D.; SILVA, T. S. F. Assessment of deforestation in the Lower Amazon floodplain using historical Landsat MSS/TM imagery. **Remote Sensing of Environment**. 2011. v.115, p.3446–3456.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In **Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2008. p.151-213

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. Folha SD 21 Cuiabá, Geologia. In: **Radambrasil**, Rio de Janeiro, 1982. vol. 26.

SOUSA, A. M. O.; MESQUITA, P. A. GONÇALVES, A. C. MARQUES DA SILVA, J. R. Segmentação e classificação de tipologias florestais a partir de imagens Quickbird. **IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**, Curitiba - PR, 2010. pp. 19-21.

SOUZA, J. P.; PRADO, C. H. B. A.; DAMASCOS, M. A.; ALBINO, A. L. S. Influence of shoot inclination on irradiance and morphophysiological leaf traits along shoots in cerrado trees with distinct leaf deciduousness. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. 2009. 21:281-289.

SPÍNOLA, M. C.; BECHARA, F. C.; BARRETTO, K. D. Uso de sensoriamento remoto na identificação de fitofisionomias do Cerrado Lato Sensu. **Revista Brasileira de Biociências**. 2007. v. 5, pp. 378-380.

TANSEY, K.; CHAMBERS, I.; ANSTEE, A.; DENNIS, A.; LAMB, A. Object-oriented classification of very high resolution airborne imagery for the extraction of hedgerows and field margin cover in agricultural areas. **Applied geography**. 2009. 29, pp. 145-157.

UHLMANN, A. **Análise fitossociológica de três categorias fisionômicas no Parque Estadual do Cerrado**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995. 153 p.

WANG, L.; SOUSA, W. P.; GONG, P. Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 2004. pp. 25 (24), 565-5668.

WATTS, J. D.; LAWRENCE, R. L.; MILLER, P. R.; MONTAGNE, C. Monitoring of cropland practices for carbon sequestration purposes in north central Montana by Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, 2009. pp. 113, 1843-1852.

ZHOU, W.; TROY, A.; GROVE, M. Modeling residential lawn fertilization practices: Integrating high resolution remote sensing with socioeconomic data. **Environmental Management**. 2008. pp. 41:742-752.

CAPITULO III

ESPECTROSCOPIA FOLIAR E CONCENTRAÇÃO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DE ESPÉCIES FLORESTAIS DO BIOMA CERRADO

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicabilidade do Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-RES* na análise de concentração de pigmentos fotossintéticos de espécies florestais de maior Valor de Importância (VI) pertencentes a um fragmento de Cerrado *Stricto Sensu* localizado no município de Cuiabá- MT. Para tanto, foram utilizados dados obtidos por levantamento fitossociológico na área de estudo no intuito de se obter as espécies de maior Valor de Importância (VI), destas, sendo escolhidas as cinco primeiras espécies. Em posse das espécies identificadas em campo, foram tomadas amostras foliares para a realização das leituras espectrais *in loco*. Estas amostras foram analisadas posteriormente em laboratório, com o objetivo de quantificar a concentração de pigmentos fotossintéticos presentes nas mesmas. Mais adiante, foram processados os dados referentes à coleta das assinaturas espectrais das cinco espécies de maior Valor de Importância (VI), os quais foram validados estatisticamente por meio da análise de correlação de Pearson (p). Por fim, foi realizada uma análise visual descritiva relacionando a concentração de pigmentos foliares com as respostas espectrais de cada espécie. Os resultados indicaram uma alta relação entre essas duas variáveis, indicando assim, uma ótima aplicabilidade de dados espectrorradiométricos em estudos relacionados à fisiologia vegetal.

Palavras-Chave: Espectrorradiômetro, assinaturas espectrais, clorofila.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the applicability of *Spectroradiometer Fieldspec 4 Standard-RES* in the study of the physiology of forest species of greatest Importance Value (IV) belonging to a fragment of Cerrado *Stricto Sensu* in the municipality of Cuiabá, Mato Grosso state. Data obtained by phytosociological survey was used in the study area in order to obtain the largest species of Importance Value. Five species of higher VI were chosen for this study. With the species identified in the field, leaf samples were taken to perform the spectral readings spot. These samples were later analyzed in the lab, with the aim of quantifying the concentration of photosynthetic pigments present in species leaves. Furthermore, the data regarding the collection of spectral signatures of five species of greatest Importance Value (IV) were processed, which were statistically validated by Pearson correlation analysis and ANOVA - One way. Finally, a visual description analysis relating the concentration of leaf pigments with spectral responses of each species was performed. The results showed a high correlation between these two variables, thus indicating a great applicability for spectroradiometric data in plant physiology studies.

Key-words: Spectrorradiometer, spectral signatures, chlorophyll.

1 INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira, perdendo em termos de área somente para a Amazônia. Possui uma extensão com pouco mais de 203 milhões de hectares, o que equivale aproximadamente a 25% do território nacional, ocupando a porção central do Brasil e representada nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia e o Distrito Federal (IBGE, 2004).

Nessas áreas, é encontrado ainda um terço da biodiversidade brasileira e aproximadamente 5% da flora e fauna mundiais, sendo considerada a savana mais biologicamente diversificada do mundo. (WWF, 1995, MMA, 1999; KLINK E MACHADO, 2005).

Há uma grande diversidade de habitats, que por sua vez, é povoada por uma grande diversidade da flora, com aproximadamente 11.000 espécies vasculares de plantas superiores nativas (MENDONÇA et al. 2008).

Entre as razões que explicam a grande variação de tipos e formas vegetacionais do Bioma Cerrado, pode-se citar sua grande variação latitudinal e condições geomorfológicas distintas (EITEN, 1987).

Segundo Ribeiro e Walter (1998), podem ser identificados onze tipos principais de vegetação, os quais se agrupam em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado *Stricto Sensu*, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre).

Em números de unidades de conservação o Bioma Cerrado apresenta o total de 7,44% de área protegida, e deste montante apenas 2,91% configura-se como unidades de conservação de proteção integral, a exemplo dos parques nacionais.

Apesar de todo o conhecimento sobre a riqueza e importância deste Bioma, têm-se observado ao longo das últimas décadas uma progressiva devastação nas áreas de Cerrado, ocasionadas pela supressão florestal e pela degradação de extensas áreas.

Enfim, tais mudanças ocorridas neste bioma acarretaram em danos ambientais severos como, por exemplo, a fragmentação de habitats, a erosão dos solos e a degradação de ecossistemas (KLINK e MOREIRA, 2002).

Tendo em vista tal problemática, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas à flora do Cerrado que sejam capazes ainda de subsidiar tecnicamente questões ligadas à melhor forma de manejo dessas áreas, seja em aspectos comerciais ou conservacionistas.

Em razão disso, primeiramente é imprescindível obter um conhecimento minucioso do extrato vegetal que compõem essas áreas, bem como dos processos ecológicos que estão relacionados com a composição e estrutura do mesmo.

Para Schneider e Finger (2000), o levantamento florístico configura-se como uma das etapas primordiais no estudo e conhecimento da flora de determinada área, podendo traçar um panorama geral do conjunto de espécies que compõe a vegetação, compreendendo assim sua riqueza e o número de espécies presentes em uma comunidade florestal.

De acordo com Silva (1998), a realização de levantamentos fitossociológicos e fisionômicos combinados ainda com novas tecnologias advindas do Sensoriamento Remoto da vegetação podem se tornar um poderoso instrumento no mapeamento e estudo da flora do Cerrado.

Dentre as técnicas mais atuais referentes às novas tecnologias no campo do Sensoriamento Remoto tem se destacado muito a Espectroradiometria, técnica capaz de medir a resposta espectral de alvos na superfície terrestre por meio do contato direto com o mesmo (DEMANEZ GASTELLU- ETCHEGORRY, 2000).

A utilização de Espectrorradiômetros de Campo com alta resolução espectral é uma das técnicas que melhor tem contribuído para analisar as características de absorção e a reflectância da radiação fotossinteticamente ativa (JENSEN, 2009).

O processo que caracteriza a resposta espectral da vegetação se configura de maneira complexa, sendo principalmente influenciado por

fatores endógenos e exógenos da vegetação. O primeiro diz respeito aos aspectos relacionados à morfologia, anatomia e estrutura do vegetal, enquanto que o segundo envolve os aspectos quantitativos e qualitativos da radiação eletromagnética que incide sobre a vegetação (WATRIN e MACIEL, 2005).

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), estudos relacionando a interação da energia eletromagnética com alvos na superfície terrestre, como a vegetação, são de grande valia, pois podem fornecer informações tanto sobre aspectos físicos das espécies quanto químicos, de forma que seja possível estabelecer relações entre informações espectrais da vegetação e componentes estruturais presentes nas folhas, como por exemplo, a concentração de pigmentos fotossintéticos.

Segundo Ferét (2011) diferentes estudos foram aplicados na determinação do conteúdo químico de espécies vegetais utilizando propriedades óticas, dentre eles podem se citar os trabalhos realizados por Danson e Bowyer (2004); Gitelson et al. (2006); Sims e Gamon, (2002), os quais utilizaram métodos baseados em índices espectrais; os estudos envolvendo métodos de estatística multivariada por meio de regressões lineares (ASNER e MARTIN, 2008); (ASNER et al., 2009); (BLACKBURN e FERWERDA, 2008); (JACQUEMOUD et al., 1995); (JØRGENSEN et al., 2007); (LI et al., 2007) e não lineares (SHI e SUN, 2007).

Os tipos e as quantidades de pigmentos fotossintéticos variam de acordo com a espécie vegetal. Dentre os pigmentos naturais de maior abundância nas plantas está a clorofila, estando presentes em organelas denominadas de cloroplastos e em outros tecidos da planta (VON ELBE, 2000). É o pigmento essencial para a realização da fotossíntese e atua diretamente no crescimento do vegetal. (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979).

Dentro do grupo das clorofilas, a clorofila *a* é o pigmento de maior expressão em termos quantitativos dentre os pigmentos verdes encontrados nos vegetais, correspondendo a aproximadamente 75% nestes (GROSS, 1991). Ela é essencial no processo de fotoquímica, que é o primeiro estágio do processo fotossintético. Já os demais pigmentos

foliares atuam no auxílio da absorção da luz e na transferência da energia para outros centros de reação, sendo chamados desta maneira de pigmentos acessórios, os quais incluem, por exemplo, a clorofila b (TAIZ e ZIEGER, 2004). Normalmente, a razão molar entre clorofila a e b presente em vegetais superiores é de aproximadamente 3:1 (SCHWARTZ e LORENZO, 1990).

A clorofila b está presente em maior quantidade em plantas do sub-bosque da floresta, onde há uma condição de sombreamento das mesmas. Neste caso, essa maior abundância possibilita a importante função de captação e transferência de energia de outros comprimentos de onda além da faixa do espectro correspondente ao visível para uma molécula específica de clorofila a que é capaz de assimilar essa energia e utilizá-la no processo fotossintético (WHATLEY e WHATLEY, 1982)

Dentre os trabalhos relacionando teores de clorofila a e b em espécies florestais condicionadas à intensidade de luz, podem-se citar os trabalhos pioneiros desenvolvidos por Shirley (1929); Bjorkman e Holmgren, (1963); Inoue, (1978); Abrams, (1987) e Lee, (1988).

Outro grande grupo de pigmentos naturais presentes na natureza e constituindo-se como um dos mais importantes devido à sua ampla distribuição, diversidade estrutural e inúmeras funções, são os carotenoides, os quais são responsáveis pelas cores que vão do amarelo ao vermelho em frutas, vegetais, fungos e flores (MALDONADO-ROBLEDO et al., 2003; RIBEIRO e SERAVALLI, 2004). São considerados hidrocarbonetos lipossolúveis e possuem mais de 600 estruturas caracterizadas (TINOIA et al., 2005). Para Hendry e Price (1993) a relação entre carotenoides e clorofila pode ser utilizada como um ótimo indicador de suscetibilidade da planta à intensidade da luz.

Segundo Engel e Poggiani (1991) a luz no ambiente de crescimento das plantas é de suma importância, pois a adaptação das mesmas a este ambiente está intimamente relacionada com o seu sistema fotossintético, de modo que possa haver uma otimização no aproveitamento da energia luminosa. Tais adaptações irão influenciar diretamente no desenvolvimento do vegetal.

As plantas utilizam-se da radiação fotossinteticamente ativa (RFA ou PAR) que está compreendida entre 400 e 700nm (a chamada luz visível). A quantificação dessa energia pode ser utilizada em inúmeras aplicações, como na caracterização do crescimento e morfologia vegetal, na estimativa da competição entre plantas ou mesma na avaliação das relações de interação entre as mesmas (CARTER e KLINKER, 1992; ACKERLY e BAZZAZ, 1995).

De acordo com Kluge (2004) no processo fotossintético os pigmentos envolvidos (clorofilas a e b, carotenoides) absorvem a energia e transferem para os centros de reações, sobre as membranas tilacóides. Estes centros de reações se dividem em dois núcleos. A partir da molécula de clorofila os elétrons provenientes da água são transferidos para a cadeia transportadora de elétrons da fotossíntese

Conforme o pigmento, diferente é a faixa espectral absorvida para desencadear o processo fotossintético. As duas regiões ótimas para se observar a interação da folha com o conteúdo de clorofila nela presente, é em 400 – 500nm e em 600 – 700nm. A primeira região é caracterizada pela forte absorção devida à presença de carotenoides e clorofilas, enquanto que a segunda caracteriza-se pela forte absorção apenas de clorofila (HALL e RAO, 1980).

Quantificar a concentração de pigmentos fotossintéticos é de suma importância para a avaliação do vigor de espécies arbóreas, atuando desta forma, como um indicador do estado fisiológico do vegetal. O total de clorofila a e clorofila b presentes em espécies florestais respondem pelo controle do montante de radiação solar que a folha é capaz de absorver, portanto, estão diretamente relacionados com o potencial fotossintético e com a produção primária dos mesmos (LIETH, 1973; LARCHER, 2004).

Em relação aos métodos de extração de pigmentos foliares, existem dois tipos: Destrutivos e Não Destrutivos. O primeiro utiliza amostras do material vegetal para extração em solventes orgânicos, enquanto que no segundo adotam-se aparelhos medidores portáteis, os quais utilizam princípios óticos não destrutivos, apenas baseando-se na

absortância e/ou reflectância da luz sobre a folha. (RICHARDSON et al., 2002).

O método destrutivo configura-se como o método tradicional, utilizando solventes orgânicos como éter e acetona a 80% (LICHTENTHALER, 1987).

Hiscox e Israelstam (1979) proporam o uso de Dimetil-sulfóxido (DMSO) como método mais indicado na extração de clorofilas *a* e *b* em vegetais superiores, devido a melhor eficiência e agilidade deste solvente em comparação com os citados anteriormente.

A extração de pigmentos pelo método do DMSO preconiza submeter amostras dos tecidos vegetais em incubação por diferentes períodos de tempo, uma vez que características foliares como espessura e grau de cutinização variam de acordo com cada espécie, o que influencia, portanto, o tempo necessário que o solvente leva para a extração de pigmentos contidos nas folhas (NIKOLOPOULOS, 2008).

Este solvente tem sido recomendado há muito tempo por diversos pesquisadores (BARNES et al., 1992; MONJE e BUGBEE, 1992) e tem como principal vantagem em relação aos outros a estabilidade durante o processo de extração, uma vez que a clorofila embebida em DMSO degrada mais lentamente quando comparada a outros solventes, como acetona por exemplo (HISCOX e ISRAELSTAM, 1979).

Desta forma este estudo teve como objetivo analisar a influência da concentração de pigmentos fotossintéticos nas respostas espectrais obtidas em folhas de cinco espécies de maior Valor de Importância (VI) presentes em uma área de fragmento de Cerrado *Stricto Sensu*. Para tanto, foram coletadas assinaturas espectrais foliares utilizando o Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-RES*, as quais foram comparadas posteriormente com os respectivos valores de concentração de clorofilas *a*, *b* e total, bem como de carotenoides extraídos pelo método tradicional de extração à base do solvente orgânico Dimetil-sulfóxido (DMSO).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende um fragmento de Cerrado *Stricto Sensu* localizado no município de Cuiabá – MT, mais precisamente a 42 km do perímetro urbano (Figura 4).

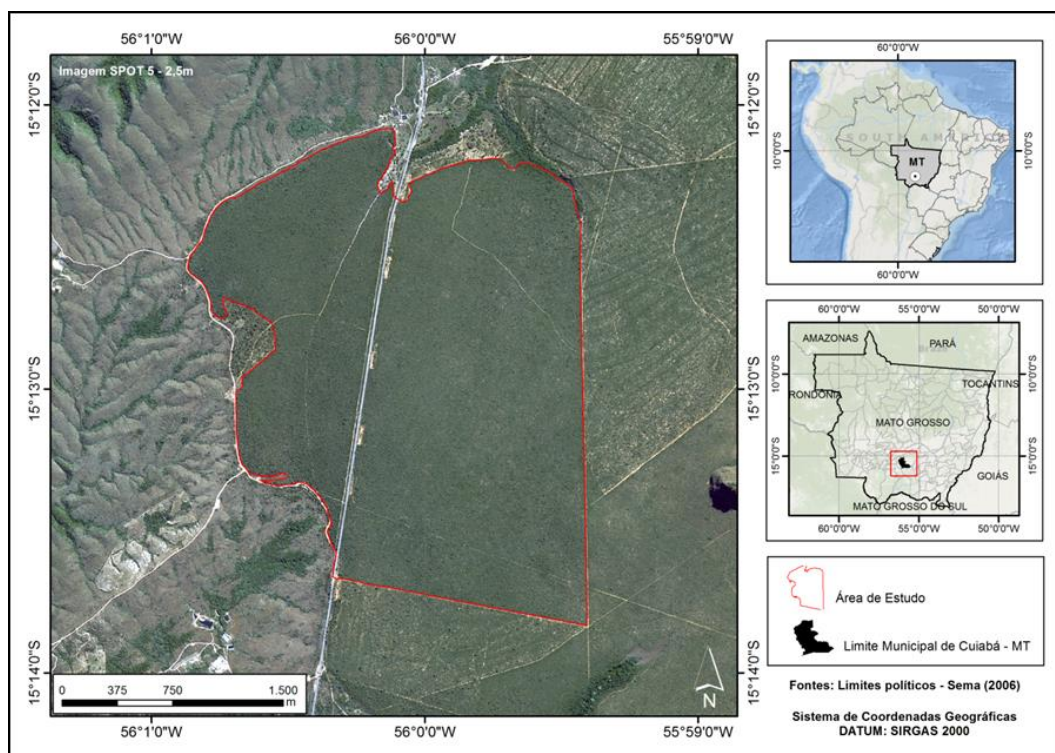


Figura 4 - Mapa de Localização da área de estudo.

Essa região encontra-se situada nas proximidades da bacia hidrográfica do Rio Coxipó-Açú, afluente do Rio Cuiabá e apresenta uma vegetação de savana típica. Com uma altitude que varia de 310 m a 390 m, a área situa-se entre as coordenadas geográficas de 15°12' e 15°13' de latitude sul e 55°59' e 56°00' de longitude oeste de Greenwich.

O clima da região é classificado como Aw de Köppen, sendo tropical quente com uma estação seca marcante e com temperaturas que

variam entre 20° e 30°. A pluviosidade média é de 1.750mm, nos meses de dezembro a fevereiro.

2.2 Seleção das Espécies

A seleção das espécies foi baseada nos resultados de levantamento fitossociológico realizado na área de estudo em junho de 2013. Para o levantamento foram alocadas 30 parcelas de tamanhos 20m x 20m (400 m²), e dispostas aleatoriamente, totalizando 10.000 m².

Em cada parcela demarcada em campo foram medidas, com o auxílio de uma fita métrica, as circunferências de todos os indivíduos arbóreos com perímetro a 0,30 m do nível do solo (Perímetro na Altura da Base - PAB) maior ou igual a 15,7 cm (Diâmetro na Altura da Base - DAB à 5,0 cm).

A identificação do material botânico foi realizada por padrões clássicos utilizados pela taxonomia, com base em caracteres morfológicos florais e vegetativos, com a utilização de coleções botânicas, pela comparação de exsicatas coletadas com material catalogado no Herbário Central da Universidade Federal de Mato Grosso, e também pela consulta à literatura e especialistas. As espécies foram organizadas de acordo com as famílias reconhecidas pelo *Angiosperm Phylogeny Group III* (APG III, 2009). Os nomes científicos foram conferidos com o *Missouri Botanical Garden*.

Quanto à suficiência de amostragem, esta foi obtida com base na análise da curva do coletor construída por meio do estimador não paramétrico *Jackknife*, que se baseia na ocorrência de espécies e no número de parcelas para estimar o total de espécies na comunidade. Os cálculos foram realizados por meio dos programas Excel versão 9.0.0.2719 e STATISTICA versão 7 desenvolvidos pela empresa Microsoft Corporation, e *EstimateS* for Windows versão 8.2.0. (COLWELL, 2006).

Para a obtenção dos resultados, foram analisados dados de Frequência absoluta, Frequência relativa, Densidade absoluta, Densidade

relativa, Dominância absoluta e Dominância relativa, os quais puderam indicar quais as espécies de maior Valor de Importância (VI) na área de estudo. Para estas, destacaram-se: *Qualea parviflora* Mart, *Diptychandra aurantiaca* Tul. *Couepia grandiflora* (Mart. et Zucc.) Benth. ex Hook , *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk., *Myrcia albotomentosa* DC, conforme evidenciado na tabela 5.

Tabela 5 – Análise do Valor de Importância (VI).

ESPÉCIES	FAi (em %)	FRi (em %)	DAi ind/ha	DRI (em %)	DoAi m²/ha	DoRi (em %)	VI	VC	VI%	VC%
<i>Myrcia albo-tomentosa</i> Camb.	90.63	3.86	147.66	12.52	0.69	5.03	21.41	17.55	7.14	8.78
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. et Zucc.) Benth. ex Hook.	93.75	3.99	60.94	5.17	1.06	7.76	16.92	12.93	5.64	6.46
<i>Davilla elliptica</i> St. -Hill.	93.75	3.99	108.59	9.21	0.44	3.24	16.44	12.45	5.48	6.22
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	90.63	3.86	58.59	4.97	0.98	7.17	15.99	12.14	5.33	6.07
<i>Pterodon emarginatus</i> Vog.	56.25	2.39	19.53	1.66	1.37	10.00	14.05	11.65	4.68	5.83
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	93.75	3.99	70.31	5.96	0.71	5.18	15.13	11.14	5.04	5.57
<i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.	62.50	2.66	39.84	3.38	0.77	5.64	11.68	9.02	3.89	4.51
<i>Vochysia cinnamomea</i> Pohl.	84.38	3.59	48.44	4.11	0.48	3.48	11.18	7.59	3.73	3.80
<i>Mouriri pusa</i> Gardn.	71.88	3.06	46.88	3.98	0.46	3.36	10.40	7.34	3.47	3.67
<i>Andira cuyabensis</i> Benth.	68.75	2.93	24.22	2.05	0.45	3.28	8.26	5.33	2.75	2.67
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	78.13	3.32	27.34	2.32	0.33	2.41	8.05	4.73	2.68	2.36
<i>Byrsonima verbacifolia</i> (L.) Rich. ex Juss.	78.13	3.32	35.94	3.05	0.23	1.67	8.05	4.72	2.68	2.36
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	46.88	1.99	18.75	1.59	0.39	2.88	6.47	4.47	2.16	2.24
<i>Tabebuia aurea</i> Benth. & Hook	46.88	1.99	14.06	1.19	0.39	2.88	6.07	4.07	2.02	2.04

Continua...

Tabela 5, cont.

ESPÉCIES	FAi (em %)	FRi (em %)	DAí ind/ha	DRi (em %)	DoAi m²/ha	DoRi (em %)	VI	VC	VI%	VC%
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	62.50	2.66	28.91	2.45	0.17	1.27	6.38	3.72	2.13	1.86
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K. Schum.) A. Robyns	43.75	1.86	17.19	1.46	0.31	2.24	5.56	3.70	1.85	1.85
<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.	28.13	1.20	14.06	1.19	0.31	2.25	4.64	3.44	1.55	1.72
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	68.75	2.93	28.13	2.39	0.14	1.02	6.33	3.41	2.11	1.70
<i>Curatella americana</i> L.	43.75	1.86	17.19	1.46	0.26	1.93	5.25	3.39	1.75	1.69
<i>Kielmeyera rubriflora</i> Camb.	43.75	1.86	20.31	1.72	0.19	1.36	4.94	3.08	1.65	1.54
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	50.00	2.13	15.63	1.33	0.17	1.24	4.69	2.56	1.56	1.28
<i>Licania sclerophylla</i> (Hook. f.) Fritsch.	28.13	1.20	7.03	0.60	0.27	1.95	3.75	2.55	1.25	1.28
<i>Terminalia argentea</i> Mart. ex Succ.	31.25	1.33	13.28	1.13	0.18	1.35	3.80	2.47	1.27	1.24
<i>Roupala montana</i> Aubl.	40.63	1.73	17.97	1.52	0.13	0.94	4.20	2.47	1.40	1.23
<i>Salvertia convallariaeodora</i> St. -Hil.	40.63	1.73	14.84	1.26	0.16	1.19	4.18	2.45	1.39	1.23
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth.	43.75	1.86	14.84	1.26	0.16	1.15	4.27	2.41	1.42	1.20
<i>Lafoensia pacari</i> St. -Hil.	43.75	1.86	17.19	1.46	0.13	0.93	4.24	2.38	1.41	1.19
<i>Myrtaceae</i> 1	50.00	2.13	16.41	1.39	0.13	0.97	4.49	2.36	1.50	1.18
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	46.88	1.99	18.75	1.59	0.09	0.69	4.27	2.28	1.42	1.14

Continua...

Tabela 5, cont.

ESPÉCIES	FAi (em %)	FRi (em %)	DAí ind/ha	DRi (em %)	DoAi m²/ha	DoRi (em %)	VI	VC	VI%	VC%
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler.	25.00	1.06	7.81	0.66	0.20	1.45	3.18	2.11	1.06	1.06
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	31.25	1.33	15.63	1.33	0.10	0.76	3.42	2.09	1.14	1.04
<i>Bowdichia major</i> Kunth.	31.25	1.33	7.81	0.66	0.19	1.40	3.39	2.06	1.13	1.03
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	59.38	2.53	17.19	1.46	0.08	0.60	4.58	2.05	1.53	1.03
<i>Rourea induta</i> Planch.	53.13	2.26	18.75	1.59	0.06	0.43	4.28	2.02	1.43	1.01
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	31.25	1.33	7.81	0.66	0.15	1.10	3.09	1.76	1.03	0.88
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	34.38	1.46	8.59	0.73	0.11	0.83	3.02	1.55	1.01	0.78
<i>Kielmeyera coriacea</i> (Spr.) Mart.	28.13	1.20	11.72	0.99	0.07	0.55	2.74	1.54	0.91	0.77
<i>Diospyrus hispida</i> DC.	31.25	1.33	7.81	0.66	0.11	0.83	2.82	1.49	0.94	0.75
<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. et Zucc.) A. Robyns	6.25	0.27	1.56	0.13	0.16	1.19	1.59	1.32	0.53	0.66
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.17	1.24	1.44	1.30	0.48	0.65
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trec.	25.00	1.06	10.16	0.86	0.05	0.39	2.32	1.25	0.77	0.63
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	15.63	0.66	3.91	0.33	0.10	0.70	1.69	1.03	0.56	0.51
<i>Tachigali aurea</i> Tul.	15.63	0.66	6.25	0.53	0.05	0.39	1.58	0.92	0.53	0.46
<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St. -Hil.) Baill.	21.88	0.93	7.03	0.60	0.04	0.27	1.80	0.87	0.60	0.43

Continua...

Tabela 5, cont.

ESPÉCIES	FAi (em %)	FRi (em %)	DAí ind/ha	DRi (em %)	DoAi m²/ha	DoRi (em %)	VI	VC	VI%	VC%
<i>Magonia pubescens</i> St. -Hil.	18.75	0.80	5.47	0.46	0.05	0.36	1.63	0.83	0.54	0.41
<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St. -Hil.) Baill.	21.88	0.93	7.03	0.60	0.04	0.27	1.80	0.87	0.60	0.43
<i>Magonia pubescens</i> St. -Hil.	18.75	0.80	5.47	0.46	0.05	0.36	1.63	0.83	0.54	0.41
<i>Mezilaurus crassiramea</i> (Meissn.) Taub.	12.50	0.53	3.91	0.33	0.06	0.47	1.33	0.80	0.44	0.40
<i>Myrtaceae</i> 5	12.50	0.53	4.69	0.40	0.05	0.35	1.28	0.74	0.43	0.37
<i>Peritassa campestris</i> (Camb.) A. C. Sm.	15.63	0.66	3.91	0.33	0.04	0.31	1.30	0.64	0.43	0.32
<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) J. F. Macbr.	12.50	0.53	5.47	0.46	0.01	0.10	1.10	0.57	0.37	0.28
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	12.50	0.53	4.69	0.40	0.02	0.15	1.08	0.55	0.36	0.27
<i>Licania</i> 1	12.50	0.53	3.91	0.33	0.03	0.18	1.05	0.51	0.35	0.26
<i>Strychnos pseudo-quina</i> St. -Hil.	12.50	0.53	3.13	0.27	0.03	0.22	1.02	0.49	0.34	0.24
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St. -Hil	15.63	0.66	3.91	0.33	0.01	0.09	1.08	0.42	0.36	0.21
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	6.25	0.27	1.56	0.13	0.03	0.19	0.59	0.32	0.20	0.16
<i>Simarouba versicolor</i> St. -Hil.	9.38	0.40	2.34	0.20	0.01	0.11	0.71	0.31	0.24	0.15
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	6.25	0.27	2.34	0.20	0.01	0.10	0.56	0.29	0.19	0.15
<i>Myrtaceae</i> 4	6.25	0.27	2.34	0.20	0.01	0.09	0.55	0.28	0.18	0.14
<i>Aspidosperma spruceanum</i> Benth. Ex M. Arg.	6.25	0.27	1.56	0.13	0.02	0.13	0.53	0.26	0.18	0.13

Continua...

Tabela 5, cont.

ESPÉCIES	FAi (em %)	FRI (em %)	DAi ind/ha	DRi (em %)	DoAi m²/ha	DoRi (em %)	VI	VC	VI%	VC%
<i>Mouriri elliptica</i> Mart.	6.25	0.27	1.56	0.13	0.01	0.10	0.50	0.23	0.17	0.12
<i>Handroanthus vellosi</i> (Toledo) Mattos	3.13	0.13	0.78	0.07	0.02	0.16	0.36	0.23	0.12	0.11
<i>Hancornia speciosa</i> var. <i>cuyabensis</i> Malme	6.25	0.27	1.56	0.13	0.01	0.06	0.46	0.19	0.15	0.10
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers	6.25	0.27	1.56	0.13	0.01	0.05	0.45	0.19	0.15	0.09
<i>Myrtaceae</i> 2	6.25	0.27	1.56	0.13	0.00	0.03	0.43	0.17	0.14	0.08
<i>Myrtaceae</i> 6	3.13	0.13	0.78	0.07	0.01	0.07	0.27	0.14	0.09	0.07
<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakolev.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.03	0.23	0.10	0.08	0.05
<i>Eugenia bimarginata</i> DC.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.03	0.23	0.10	0.08	0.05
<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schldtl.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.02	0.22	0.09	0.07	0.04
<i>Cenostigma gardnerianum</i> Tul.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.01	0.21	0.08	0.07	0.04
<i>Byrsonima basiloba</i> A. Juss.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.01	0.21	0.08	0.07	0.04
<i>Myrtaceae</i> 3	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.01	0.21	0.08	0.07	0.04
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.01	0.21	0.08	0.07	0.04
<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	3.13	0.13	0.78	0.07	0.00	0.01	0.21	0.08	0.07	0.04
	2350	100	1178	100	13.70	100	300	200	100	100

FAi = Frequência Absoluta, FRI = Frequência Relativa; DAi = Densidade Absoluta; DRi = Densidade Relativa; DoAi = Dominância Absoluta; DoRi = Dominância Relativa; VI = Valor de Importância; VC = Valor de Cobertura; VI% = Valor de Importância em porcentagem; VC% = Valor de Cobertura em porcentagem

Todas essas espécies representam apenas 18,18% do total amostrado e juntas detêm 61,10% do número total de indivíduos por ha, 67,83% da área basal por hectare e 57,24% do Valor de Importância (VI).

A seguir são descritas na tabela 6 as características das 5 espécies de maior Valor de Importância encontradas na área de estudo:

Tabela 6 - Características das espécies de Maior Valor de Importância (VI) na área de estudo.

Nome Científico	Nome Popular	Família	Ocorrência	Características
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Pau-Terrinha Rugoso	Vochysiaceae	Região Centro-Oeste e nos seguintes Estados: Tocantins, Piauí, Bahia, Minas Gerais e São Paulo (SILVA, 2005).	Apresenta hábito arbóreo, altura média de 6 m, podendo atingir 15 m, e é uma espécie decídua (SILVA, 2005; OLIVEIRA; PAULA, 2001).
<i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.	Carvão-Vermelho	Fabaceae	São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (POTT; POTT, 1994).	São árvores decíduas, de 8m a 14m de altura, com tronco geralmente retilíneo de 30 cm a 40 cm de diâmetro, revestido por casca grossa e fissura longitudinal (POTT; POTT, 1994).
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. et Zucc.) Benth. Ex Hook.	Fruta de Ema	Chrysobalanaceae	Centro-Oeste e Sudeste	Árvore de até 8m de altura; apresenta casca grossa suberosa. Folhas oblongas a ovadas, coriáceas, 7,5 – 18cm de comprimento por 3,5 – 9cm de largura (HOOKER, 1867)
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Fruta de Veado	Sapotaceae	Centro-Oeste e Sudeste	É uma espécie de hábito arbustivo-arbóreo, amplamente distribuída em áreas de Cerrado. (DALPONTE e LIMA, 1999).
<i>Myrcia albo-tomentosa</i> Camb.	Jacarezinho do Cerrado	Myrtaceae	Centro-Oeste.	Espécie de porte médio; apresenta folhas pequenas. Ocorre no Cerrado <i>Stricto Sensu</i> , Floresta Estacional Semidecidual.

2.3 Registro Fotográfico das Espécies



Figura 5 - *Diptychandra aurantiaca* Tul.



Figura 6 - *Myrcia albo-tomentosa* Camb.



Figura 7 - *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk.



Figura 8 - *Qualea parviflora* Mart.



Figura 9 - *Couepia grandiflora* (Mart. et Zucc.) Benth. ex.

3 ESPECTRORRADIOMETRIA FOLIAR

Para a campanha de campo, realizada em outubro de 2013, foi utilizado um GPS de navegação contendo a localização das parcelas fixas presentes na área de estudo. Após a identificação das 5 espécies de maior valor de importância (*Qualea parviflora*, *Diptychandra aurantiaca*, *Couepia grandiflora*, *Pouteria ramiflora*, *Myrcia albo-tomentosa*) procedeu-se a coleta do material vegetal por meio de um podão de haste de alumínio.

Quanto à metodologia de amostragem dos dados de campo, esta pesquisa baseou-se no protocolo de coleta e análise de dados espectrais elaborados pelo *Carnegie Institution for Science (Summary Field Procedures)*, referência em análises espectroscópicas. Para tanto, foram coletados de 2 a 3 galhos localizados no terço médio das 5 espécies trabalhadas neste estudo, na porção mais iluminada pelos raios solares, porém sem incidência de luz direta. Em posse desses materiais, foram tomadas imediatamente 6 amostras de folhas saudáveis e maduras de cada indivíduo. Buscou-se evitar folhas com sinais de herbivoria e/ou presença de fungos que pudessem atrapalhar o procedimento de leitura espectral. Logo, com o Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-RES* (Figura 10), foram realizadas *in situ*, medidas de reflectância e transmitância foliar em 6 folhas de cada espécie, com 3 repetições para cada uma, totalizando 18 leituras de reflectância e 18 de transmitância. As leituras de reflectância são obtidas utilizando-se o fundo preto do acessório *Leaf Clip* (Figura 10), enquanto que para as leituras de transmitância utiliza-se o lado branco. O *Leaf Clip* é capaz de manter a mesma intensidade de luz e incidência ortogonal em todas as leituras, atuando, portanto, como um método totalmente controlado.



Figura 10 - (1) Espectrorradiômetro Fieldspec 4 Standard-RES e (2) Acessório Leaf Clip.
 Fonte: *Analytical Spectral Devices – ASD*.

A tabela 7 elenca as características do Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard- RES* :

Tabela 7 - Características do Espectroradiômetro *Fieldspec 4 Standard-RES*.

Banda espectral	350-2500 nm
Resolução espectral	3 nm em 700 nm e 10 nm em 1400/2100 nm.
Intervalo de amostragem	1,4 nm em 350-1050 nm.
	2 nm em 1000-2500 nm.
Tempo de medida	100 milissegundos.
Luz difusa	VNIR 0,02% SWIR 1 e 2 - 0,01%
Reprodutibilidade espectral	0,1 nm
Precisão espectral	0,5 nm
Radiância máxima	VNIR 2X Solar / SWIR 10X Solar.
Canais	2151.
Detectores	VNIR (350-1000 nm) Matriz de Fotodiodos de silício com 512 elementos. SWIR 1 e 2 (1000-1800 nm) e (1800-2500 nm). Fibras de índice gradual, fotodiodos de InGaAs, resfriados termoeletricamente.

Continua...

Tabela 7,Cont.

Entrada	Cabo de fibra óptica de 1,5 m (25° de campo de visada). Lentes com campos de visada mais estreitos disponíveis.
Massa	5,44 kg.
Calibrações	Comprimentos de onda reflectância absoluta, radiância, irradiância.
Computador	Notebook 64 bits (instrumento controlador).

Após a tomada de medidas com o espectrorradiômetro, as amostras foliares foram armazenadas em sacos plásticos pretos hermeticamente fechados e previamente etiquetados com o nome de cada espécie arbórea. Todo esse material foi armazenado em um isopor contendo garrafas d'água congeladas envoltas por um jornal, no intuito de apenas controlar a temperatura e evitar o contato direto com o gelo. Tal procedimento é efetuado para retardar o processo de degradação dos pigmentos foliares e garantir, posteriormente, a análise dos mesmos em laboratório.

Em laboratório, os dados provenientes das leituras espectrais foliares obtidas pelo *Espectrorradiômetro Fieldspec 4 Standard-RES* foram exportados para planilhas do *Microsoft Excel 2010*, onde se puderam gerar as médias de valores de reflectância e transmitância para cada uma das bandas (350 – 2500nm) que compõem a resolução espectral do instrumento. Em posse desses dados, foram obtidos também os valores de absortância foliar, a partir da razão entre os valores de reflectância e transmitância.

Para analisar o grau de relacionamento entre as variáveis Reflectância, Transmitância, Absortância, registradas para cada espécie trabalhada neste estudo, foi realizada uma análise estatística com os valores destas encontrados no intervalo de comprimento de onda do visível (400-700nm), região onde ocorre as maiores interações entre os pigmentos foliares e a resposta espectral foliar. Para tanto, foi calculado coeficiente de correlação de Pearson (p) o qual é dado pela seguinte expressão:

$$p = \frac{1}{n-1} \sum \frac{(x_i - X)}{S_x} \frac{(y_i - Y)}{S_y}$$

O coeficiente de Pearson (p), em termos práticos é utilizado para descrever a independência entre as variáveis X e Y , e sua interpretação é a seguinte: Quando $|p|=1$ existe correlação linear perfeita entre as variáveis X e Y , enquanto que quando $p = 0$, não existe correlação linear entre as variáveis X e Y .

De acordo com CALLEGARI-JACQUES (2003), o coeficiente de correlação pode ser avaliado em termos qualitativos da seguinte maneira:

Se $0,00 < |p| < 0,30$, existe fraca correlação linear;

Se $0,30 < |p| < 0,60$, existe moderada correlação linear;

Se $0,60 < |p| < 0,90$, existe forte correlação linear;

Se $0,90 < |p| < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

as análises foram realizadas para um intervalo de confiança de 95% e foram geradas utilizando-se o software *Minitab*.

3.1 Determinação da Concentração de Pigmentos Fotossintéticos

O método de extração de pigmentos adotado neste estudo foi por extração a partir de solventes orgânicos, utilizando-se para tanto, Dimetil-sulfóxido (DMSO) a 5%, enquanto que para o procedimento de leitura dos dados foi adotado o Espectrofotômetro CIRRUS 80 MB.

Todavia, antes da quantificação da concentração de pigmentos foliares, foi realizado, primeiramente, o preparo do material foliar coletado em campo. Desta forma, foram obtidas para esse procedimento sub-amostras para cada uma das 6 folhas de cada espécie. Tal procedimento

contou com a extração de três discos de tecido vegetal em dimensões de 0,5 cm², totalizando 18 discos por espécie.

Para a extração dos pigmentos, as amostras foram imersas em 3 ml de DMSO e permaneceram por 6 horas na solução de extração em tubo de ensaio. Para leitura foram utilizadas cubetas de quartzo em Espectrofotômetro FEMTO CIRRUS 80MB.

Como o tempo de extração de pigmentos varia de espécie para espécie e não se tem registrado em literatura o período necessário para a extração dos mesmos nas espécies trabalhadas neste estudo, foram realizadas incubações dos tecidos vegetais em períodos de 2, 4, 6, 8 e 10 horas no intuito de verificar o registro máximo de extração. Em intervalos de duas em duas horas foram obtidas leituras de valores de absorvância registradas pelo espectrofotômetro nas folhas de cada espécie, sendo realizada uma repetição para cada leitura. Tais valores foram registrados em três distintas bandas do espectro eletromagnético (480nm, 648nm e 665nm). Nestas amplitudes é onde se verifica a maior interação dos pigmentos fotossintéticos com a energia eletromagnética que é irradiada sobre a folha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises Espectrorradiométricas

Em posse dos dados obtidos pela leitura espectral utilizando-se o Espectrorradiômetro, foram geradas curvas espectrais de reflectância (Figura 11) para cada uma das 5 espécies, no intervalo de comprimento de onda entre 350-2500nm, 400-700nm (região do visível) e 700-1000nm (região do infravermelho próximo).

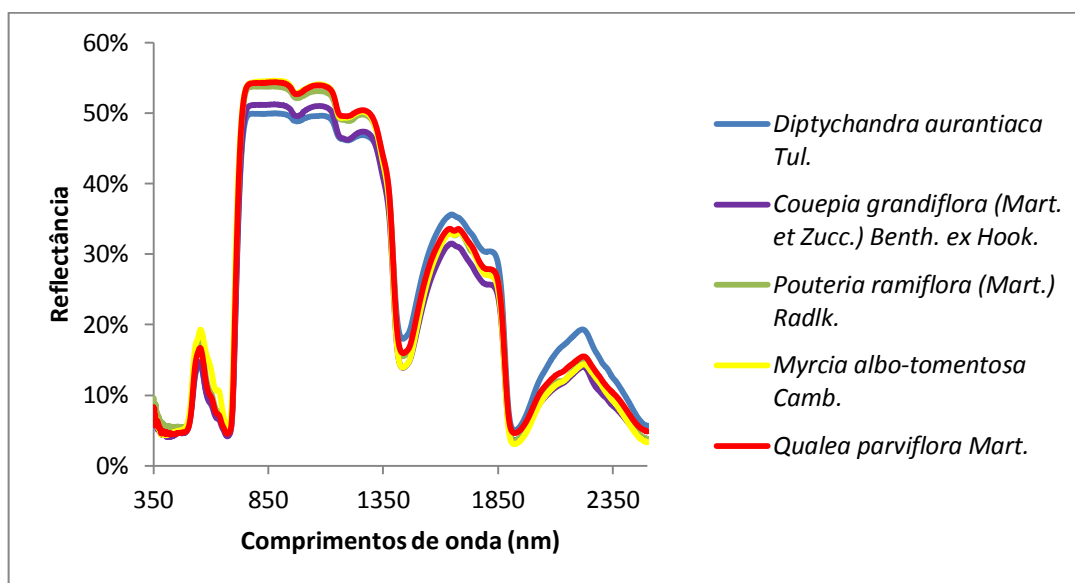


Figura 11 - Comportamento espectral (Reflectância/comp. de onda) na amplitude de bandas de 350nm a 2500nm das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) em um fragmento de Cerrado *Strico Sensu* em Cuiabá-MT.

De modo abrangente, na região do visível, de 400-700nm (Figura 12), as curvas espectrais tiveram o comportamento esperado, onde se observou na região do azul (400 a 500nm) e do vermelho (600 a 700nm) uma baixa reflectância e conseqüentemente maior absorvância, enquanto que na região do verde (500 a 600nm) houve os maiores picos de

reflectância da energia eletromagnética. Segundo Sims e Gamon (2002), a concentração de pigmentos clorofilianos exerce grande influência no comportamento espectral foliar nestas regiões do espectro eletromagnético, existindo, portanto, uma elevada correlação entre concentração de pigmentos clorofilianos e a absorção da energia pelas folhas.

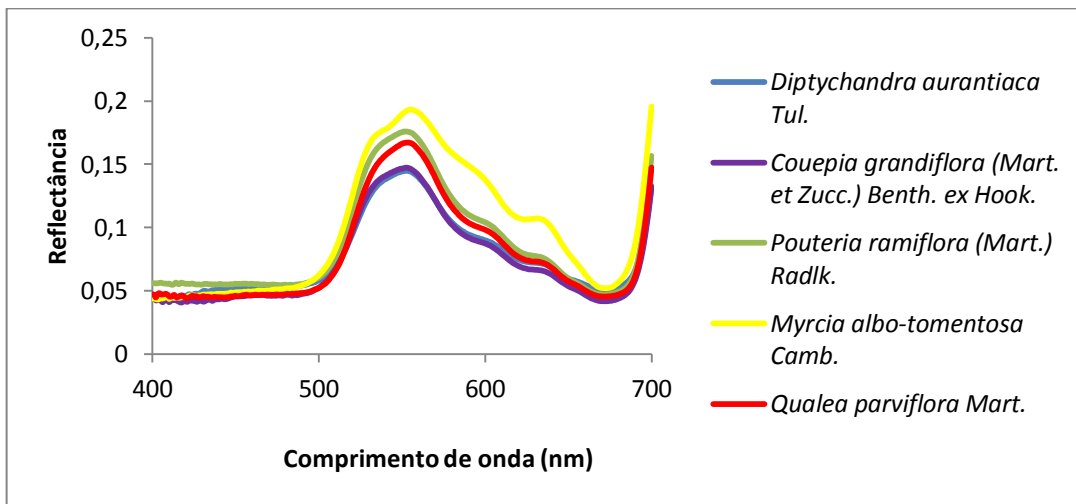


Figura 12 - Comportamento espectral (Reflectância/comp. de onda) na região do visível (400-700nm) das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) em um fragmento de Cerrado *Strico Sensu* em Cuiabá-MT.

Quanto à região do infravermelho próximo, que vai de 700-1350nm (Figura 13) observa-se a maior reflectância foliar, sendo o fator de maior influência, em relação à interação com a energia eletromagnética, 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 (JENSEN, 2009; SIMS e GAMON, 2002).

Como se pode observar existem regiões do espectro eletromagnético onde ocorre uma queda brusca de reflectância. De acordo com Jensen (2009) essas regiões, localizadas aproximadamente em 1500 1900nm e 2700nm, respondem pela maior absorção de energia pela água presente nas folhas.

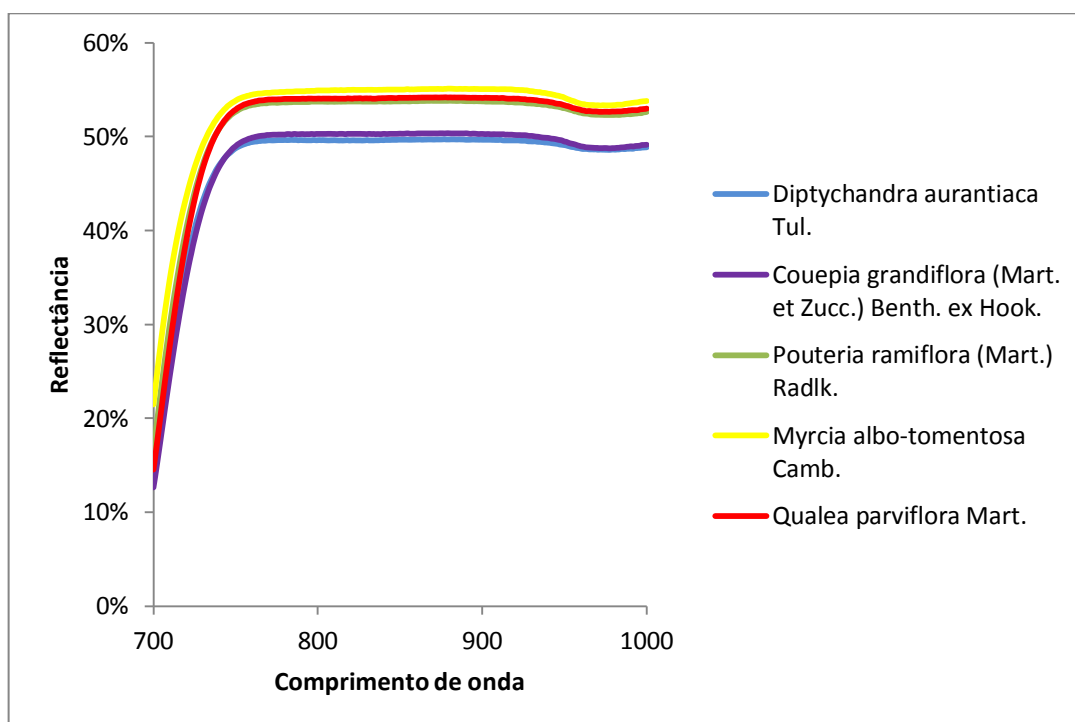


Figura 13 - Comportamento espectral (Reflectância/comp. de onda) na região do infravermelho próximo (700-1000nm) das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) em um fragmento de Cerrado *Strico Sensu* em Cuiabá-MT.

4.1.1 Resultados das análises de correlação de Pearson

Os resultados das análises utilizando o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson para o conjunto de variáveis espectrais (Reflectância, Transmitância e Absortância) obtidas para cada uma das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) são apresentados na tabela 8:

Tabela 8 - Resultados do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson para o conjunto de variáveis analisados em cada uma das 5 espécies de maior Valor de Importância (VI) deste estudo.

Variáveis	<i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.		<i>Myrcia albo-tomentosa</i> Camb.		
	R	T	Variáveis	R	T
T	1,000	-	T	0,994	-
A	-0,971	-0,597	A	-0,412	-0,505

Tabela 8. cont.

	<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. et Zucc.) Benth. ex.		<i>Qualea parviflora</i> Mart.		
Variáveis	R	T	Variáveis	R	T
T	0,999	-	T	0,913	-
A	-0,457	-0,482	A	-0,762	-0,441
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.					
Variáveis	R	T			
T	1,000	-			
A	-0,542	-0,551			

Legenda: R = Reflectância; T = Transmitância; A = Absortância.

Nas análises de correlação entre as variáveis Reflectância e Transmitância praticamente todos os valores foram muito próximos ou igual a 1, o que indica uma correlação linear positiva muito forte de acordo com o sistema de classificação elaborado por CALLEGARI-JACQUES (2003).

Já nas comparações entre valores de Absortância e Reflectância, nota-se uma correlação negativa “moderada a forte” entre essas duas variáveis. Tal correlação negativa indica que o aumento proporcionado por uma variável acarreta na diminuição de outra e vice-versa. Resultados semelhantes podem ser observados também para as interações entre Absortância e Transmitância, onde se verifica uma moderada correlação entre estas variáveis na maioria das espécies. Desta maneira, essas análises serviram para comprovar as interações existentes entre as variáveis espectrais (energia eletromagnética) com as folhas das espécies trabalhadas neste estudo, validando, desta forma, o uso do Espectrorradiômetro *Fieldspec 4 Standard-Res* no estudo relacionados à vegetação.

4.2 Extração da Concentração de Pigmentos Fotossintéticos

Depois de incubadas as sub-amostras obtidas das 6 folhas referentes à cada espécie em solução de DMSO, obteve-se os resultados dos períodos máximos de extração dos seus respectivos pigmentos. Para as espécies *Pouteria ramiflora* (Figura 14), *Myrcia albo-tomentosa* (Figura 15) e *Diptychandra aurantiaca* (Figura 16), o período máximo foi registrado às 8 horas, enquanto que para *Couepia grandiflora* (Figura 17) e *Qualea parviflora* (Figura 18) o pico máximo de extração foi registrado às 6h e 10h de incubação, respectivamente.

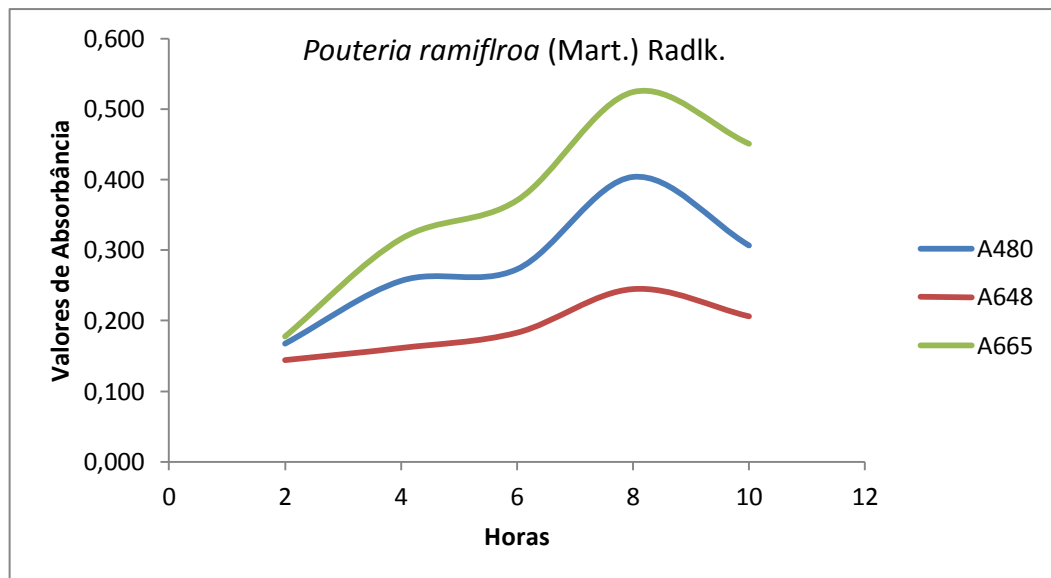


Figura 14 - Período máximo de extração de pigmentos para *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).

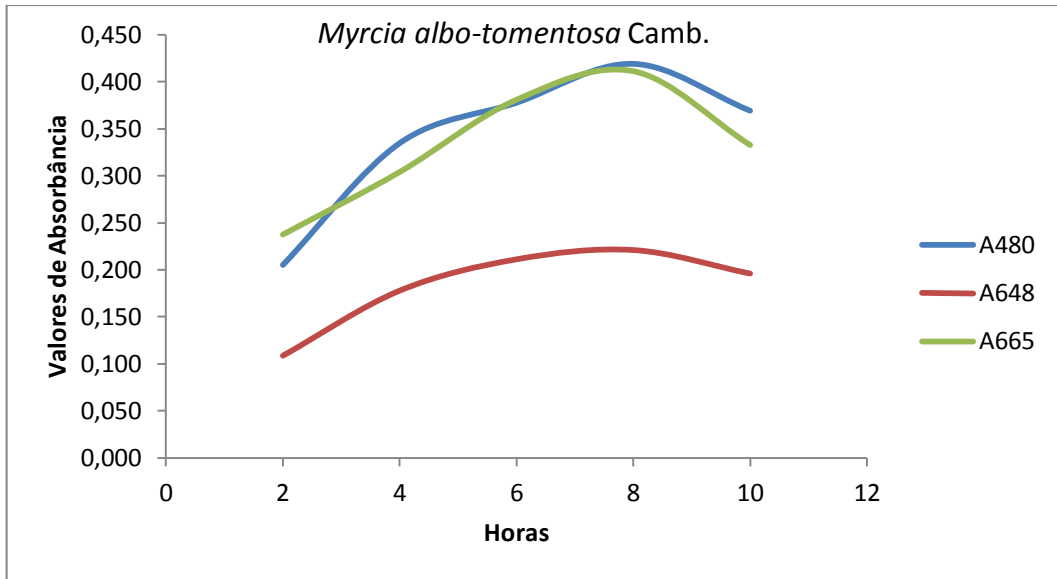


Figura 15 - Período máximo de extração de pigmentos para *Myrcia albo-tomentosa* Camb. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).

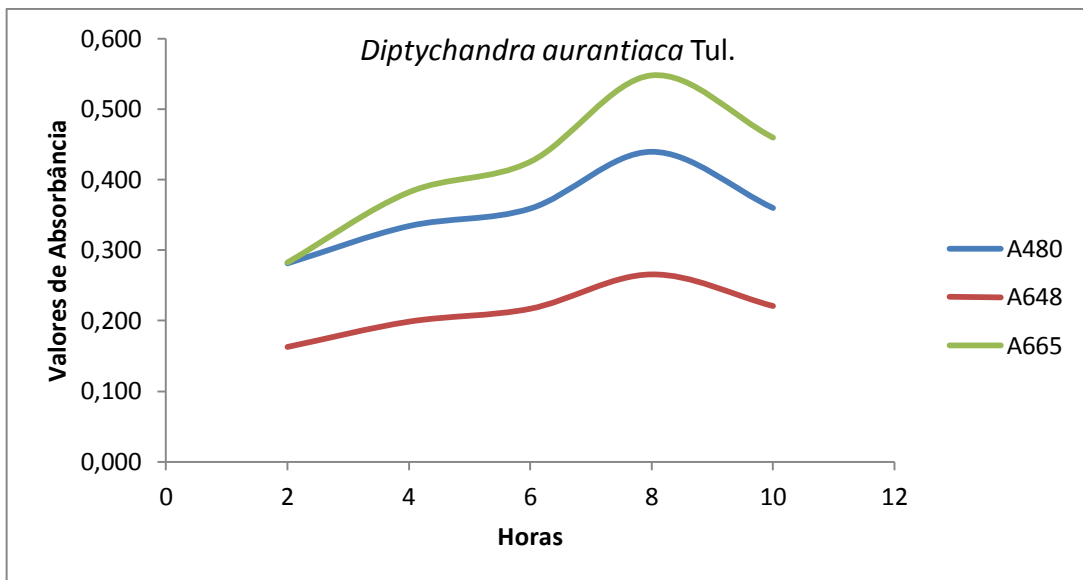


Figura 16 - Período máximo de extração de pigmentos para *Diptychandra aurantiaca* Tul. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).

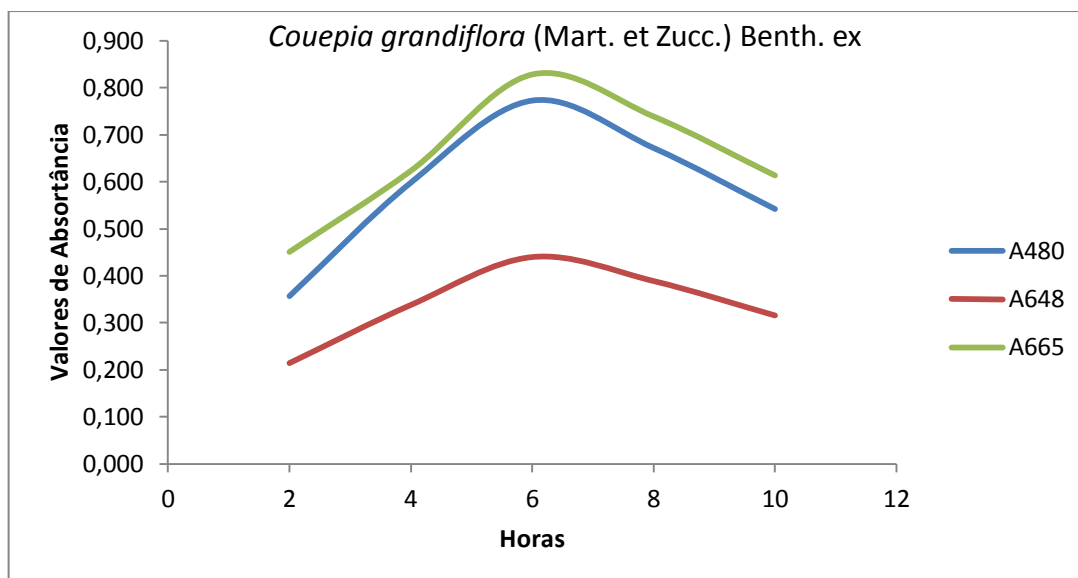


Figura 17 - Período máximo de extração de pigmentos para *Couepia grandiflora* (Mart. et Zucc.) Benth. ex. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).

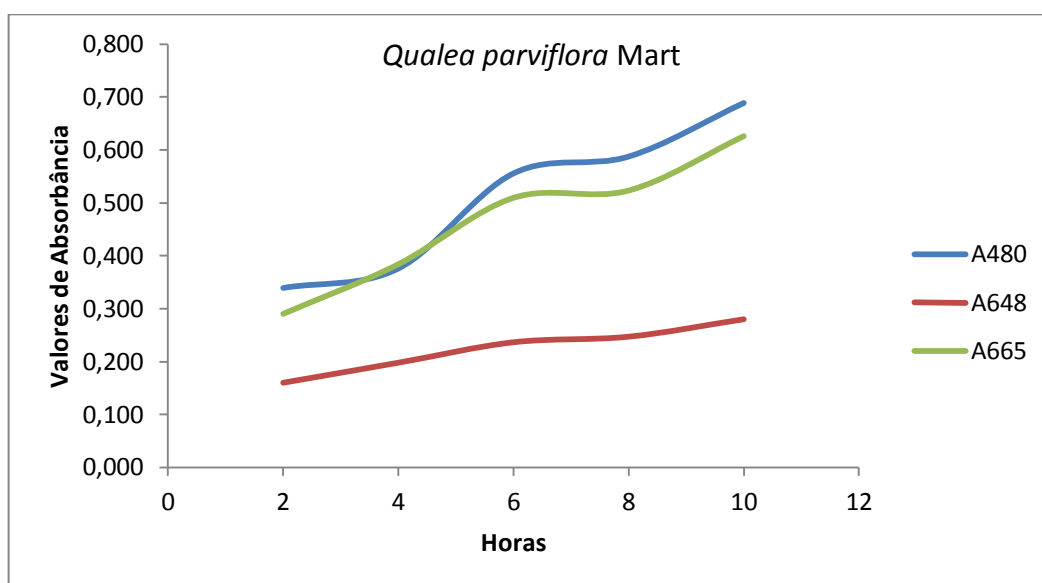


Figura 18 - Período máximo de extração de pigmentos para *Qualea parviflora* Mart. Onde: A480, A648 e A665 = Comprimentos de onda (nm).

Para a conversão de valores de absorvância obtidos pelo Espectrofotômetro para valores de concentração de pigmentos (mg/cm²), foram utilizadas as equações propostas por Wellburn (1994):

$$\text{Clorofila a: } Ca = 12,19 \cdot A_{665} - 3,45 \cdot A_{649}$$

$$\text{Clorofila b: } Cb = 21,99 \cdot A_{649} - 5,32 \cdot A_{665}$$

$$\text{Carotenoides: } C = (1000 \cdot A_{480} - 2,14 \cdot Ca - 70,16 \cdot Cb) / 221$$

Os resultados da conversão dos valores de absorvância para concentração média (mg/cm²) dos pigmentos foliares para cada espécie encontram-se na Tabela 10:

Tabela 9 - Concentração de pigmentos por espécies.

<i>Pigmentos (mg/cm²)</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>
Clorofila a	5,76	8,58	5,54	4,25	6,66
Clorofila b	2,93	5,27	2,60	2,67	2,83
Clorofila Total	8,69	13,84	8,14	6,92	9,49
Carotenoides	1,00	1,74	0,95	1,52	2,15

Legenda - E1 = *Diptychandra aurantiaca* Tul , E2 = *Couepia grandiflora* (Mart. et Zucc.) Benth. ex , E3 = *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk., E4= *Myrcia albo-tomentosa* Camb, E5 = *Qualea parviflora* Mart.

Foi constatado por meio dos resultados, valores significativamente distintos de conteúdos de Clorofilas *a* e *totais* (Ca+Cb) entre as espécies, enquanto que para os valores de carotenoides e Clorofila *b* a variação foi mais discreta. Dentre as espécies que obtiveram maior concentração de Clorofila *a* destacaram-se *Couepia grandiflora* e *Qualea parviflora* e com 8,58 e 6,66 mg/cm², respectivamente. Estas duas espécies também tiveram as maiores concentrações de Clorofila *total* (Ca+Cb), sendo 13,84 mg/cm² para a primeira e 9,49 mg/cm² para a segunda. As espécies *Diptychandra aurantiaca* Tul e *Pouteria ramiflora* mostraram valores muito próximos de Clorofilas *a* (5,76 e 5,54 mg/cm², respectivamente) e Clorofila *total* (8,69 e 8,14 mg/cm², respectivamente). A menor concentração de Clorofila *a* e Clorofila *total* foram observadas para a espécie *Myrcia albo-tomentosa* (4,25 e 6,92 mg/cm², respectivamente).

A variação de Clorofila *b* entre as espécies foi mais sutil, sendo apenas discrepante para *Couepia grandiflora*, com 5,27 mg/cm², enquanto que os outros valores tiveram uma amplitude de 2,60 a 2,93 mg/cm². Resultados semelhantes foram verificados também para as concentrações de carotenóides, tendo os menores valores para *Pouteria ramiflora*, *Diptychandra aurantiaca* Tul e *Myrcia albo-tomentosa* (0,95; 1,00 e 1,52 mg/cm², respectivamente) e valores mais elevados em *Qualea parviflora* e *Couepia grandiflora* (2,15 e 1,74 mg/cm², respectivamente).

4.3 Relação entre conteúdo de pigmentos fotossintéticos e curvas espectrais de reflectância na região do visível (400-700nm).

Os valores das curvas espectrais de reflectância obtidas para as espécies deste estudo, quando comparadas entre si, apresentaram comportamento distinto e uma forte relação com os teores médios de Clorofila total para cada espécie.

O Gráfico 4 ilustra o comparativo das respostas espectrais entre as demais espécies com os seus respectivos valores de concentração de Clorofila Total, evidenciando a significativa diferença no comportamento espectral das mesmas na região do espectro eletromagnético correspondente ao visível (400-700nm). Na região do azul (400-500nm) e do vermelho (600-700) as espécies que apresentaram menor reflectância espectral e consequentemente maior absorptância, foram *Couepia grandiflora* e *Qualea parviflora*. Estas duas espécies respondem pelas maiores concentrações de Clorofila Total em relação às outras (13,84 e 9,49 mg/cm², respectivamente).

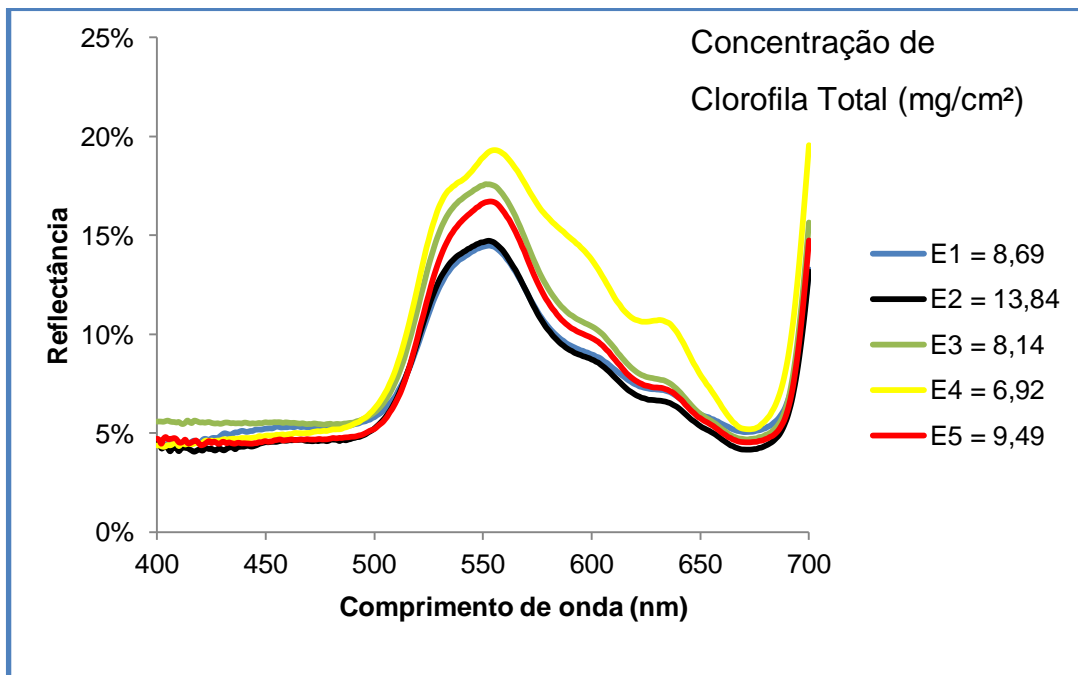


Figura 19 - Comportamento espectral das espécies de maior Valor de Importância (VI) na região do espectro do visível e concentrações de clorofila. Onde, Onde, E1= *Diptychandra aurantiaca* Tul; E2= *Couepia*

grandiflora (Mart. et Zucc.) Benth.ex Hook. E3= *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk. E4= *Myrcia albo-tomentosa* Camb. E5 = *Qualea Parviflora* Mart.

As espécies *Diptychandra aurantiaca* e *Pouteria ramiflora* obtiveram valores de concentração de Clorofila Total bem próximos (8,69 e 8,14 mg/cm², respectivamente). Analisando visualmente as curvas espectrais de ambas as espécies, percebe-se uma maior absorção de energia na região do azul (400-500nm) e do vermelho (600-700nm) para a primeira espécie em relação à segunda, o que evidencia mais uma vez a significativa influência da clorofila na resposta espectral nessas duas regiões do espectro. Também fica clara tal influência deste pigmento quando a análise comparativa se dá no pico de reflectância da região correspondente à banda verde (550nm), onde se percebe que a espécie que apresenta menor concentração de clorofila (*Pouteria ramiflora*) em relação à outra (*Diptychandra aurantiaca*) é a que obtém maior reflectância nesta região específica do espectro eletromagnético.

Resultados semelhantes a estas análises foram obtidos por Imanishi et al.(2010), em estudo de determinação do conteúdo de clorofila em duas espécies de cerejeira utilizando-se espectroscopia de reflectância foliar.

Dentre as 5 espécies trabalhadas neste estudo, a que apresentou menor concentração de clorofila por meio das análises foi *Myrcia albo-tomentosa*, com 6,92 mg/cm². Concomitantemente a isso, essa foi a espécie que mostrou mais elevada reflectância de energia na região do verde (500 a 600 nm) e na do vermelho (600-700 nm). Porém se analisada a curva espectral desta espécie na região do azul (400-500 nm), percebe-se, contraditoriamente, uma maior absorção de energia nesta região quando comparada com *Diptychandra aurantiaca* Tul. e *Pouteria ramiflora* ambas com concentrações superiores de Clorofila Total. Resultados análogos foram verificados por Silva et al. (2011), em um estudo de espectrorradiometria foliar de espécies dominantes em um fragmento de Caatinga, onde observaram que a espécie com menor curva de absorção nessa região era a que continha maior quantidade de Clorofila a, b e total. Alguns pesquisadores explicam que a reflectância/absorção de

energia na região do azul sofre grande influência de carotenoides (MITCHELL, 1979; LICHENTALER, 1987; SIMS e GAMON, 2002). Esta afirmativa corrobora com os resultados deste estudo, uma vez que a concentração de carotenoides para *Myrcia albo-tomentosa* é de 1,52 mg/cm², valor este superior ao encontrado para *Pouteria ramiflora* (0,95 mg/cm²) e *Diptychandra aurantiaca* (1,00 mg/cm²).

5 CONCLUSÃO

As cinco espécies trabalhadas neste estudo apresentaram uma forte relação entre concentrações de pigmentos (principalmente a clorofila total) e suas respectivas respostas espectrais. A espécie que apresentou a maior concentração de clorofila total (*Couepia grandiflora*) foi a que satisfatoriamente obteve uma maior absorção de energia luminosa em regiões do espectro eletromagnético que exercem grande influência dos pigmentos fotossintéticos sobre a curva espectral. Da mesma forma, verificou-se uma menor absorção de energia nestas regiões e uma maior reflectância para a espécie que apresentou a menor concentração de clorofila total (*Myrcia albo-tomentosa*).

Recomenda-se, em estudos futuros a quantificação de um número maior de amostras foliares tomadas em extratos distintos da copa das espécies arbóreas, uma vez que a concentração de pigmentos foliares sofre uma grande variabilidade em função da intensidade luminosa.

6 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLY D. D., BAZZAZ, F. A. Seedling crown orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps. **Ecology** **76**. 1995. p.1134-1146.

ASD. Analytical Spectral Devices. Disponível em: <http://portableas.com/index.php/manufacturers/asd/>, (último acesso em: 12/10/2013).

BARNES, D. L.; DEMPSEY, C. P. Influence of period of deferment before stocking spring-burnt sourveld on sheep performance and veld productivity. **J. Grassl. Soc. South. Afr.**, 1992. 9 (4): 149-157.

BJORKMAN O.; HOLMGREN P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 1963. 16:899-915.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p

CARTER, R. E., KLINKER, K. Variation in shade tolerance of Douglas fir, western hemlock, and western red cedar in coastal British Columbia. **Forest Ecology Management**. 1992. P.55, 87-105.

COLWELL, R. K. EstimateS 8.2.0. **Statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 8.2.0. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateSPages/EstimateS.flx> (último acesso em 22/11/2013).

DANSON, F.M., and Bowyer, P., Estimating live fuel moisture content from remotely sensed reflectance, **Remote Sensing of Environment**, 92, 2004. p.309-321.

EITEN, G. Physiognomic categories of vegetation. In: MIYAWAKI, A.; BOGENRIEDER, A.; OKUDA, S.; WHITE, J.(Eds.). Vegetation ecology and creation of new environments. Tokio: Tokai University Press.1987. p. 387-403.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina.1991. v.3, n.1, p.39-45.

FÉRET, J. B et al. Optimizing spectral indices and chemometric analysis of leaf chemical properties using radiative transfer modeling. **Remote Sensing of Environment**. 2011. pp.2742–2750.

FINGER, Z. **Fitossociologia de comunidades arbóreas em savanas do Brasil central**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2008. 260 p.

GITELSON A. A.; KEYDAN G. P.; MERZLYAK M.N. Three band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids and anthocyanin contents in higher plant leaves. **Geophysical Research Letters** 33: L11402.2006.

GROSS, J. **Pigments in vegetables, chlorophylls and carotenoids**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 351p.

HALL D. D.; RAO, K .K. **Fotossíntese**. São Paulo: EPU, 1980. 89p.

HENDRY, G .A .F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. (eds), **Methods in Comparative Plant Ecology**, London, Chapman & Hall, 1993. p. 148-152

HISCOX J. D.; ISRAELSTAM , G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**. 1979. p.1332-1334.

IBGE. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. 2ª ed. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. 2004. 332p.

IMANISHI J.; NAKAYAMA A.; SUZUKI Y.; IMANISHI A; UEDA N.; MORIMOTO, Y.; Yoneda,M. Nondestructive determination of leaf chlorophyll content in two flowering cherries using reflectance and absorptance spectra. **Landscape and Ecological Engineering**. 2010. 6(2): 219-234.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. Belo Horizonte, Megadiversidade, 2005. v. 1, p. 148-155.

KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). **The Cerrados of Brazil**. Nova Iorque: Columbia University Press. 2002. p.69-88.

KLUGE R.A. **Fisiologia vegetal: apontamentos de aulas teóricas de fotossíntese**. ESALQ/USP. Acesso em 10 out. 2013. Online. Disponível em Internet <http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/gradOI/06fotoquímica/fotossintese/fotossínteseKluge>.

KRAMER, P. J. and T. T. KOZLOWSKI. **Physiology of woody plants**. Academic Press, Orlando, Florida, 1979. 811 p.

LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LEE, D. W. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: Juvenile growth in three vines in India. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge.1988.4:281-92.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.** San Diego. 1987. v.148,p. 362-385.

LIETH H. Primary production: terrestrial ecosystems. (Paper at 2nd Cong. of AIBS, Oct. 1971, Miami, Fla.) **Human Ecol.** 1973. 1:303-332.

MACHADO, R.B., RAMOS NETO, M.B., HARRIS, M.B., LOURIVAL, R. e AGUIAR, L.M.S. Análise de lacunas de proteção da biodiversidade no Cerrado – Brasil. **Anais...** Curitiba – PR, 2004.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R.J. (org.) The Cerrado of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York, **Columbia University Press.** 2002. p. 69-88, 424p.

MALDONADO-ROBLEDO, G.; RODRIGUEZ-BUSTAMANTE, E.; SANCHEZ CONTRERAS, A.; RODRIGUEZ-SONOJA, R.; SANCHEZ, S.; Production of tobacco aroma from lutein. Specific role of the microorganisms in the process. **Applied Microbiology e Biotechnology**, 2003. v. 62, p. 484-488.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S. & NOGUEIRA, P. E. 1998. Flora Vascular do Cerrado. Pp. 289-556. In: S. M. Sano & S. P. Almeida (eds). **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina, EMBRAPA-CPAC.

MITCHELL, R. L. **Crop Growth and Culture.** Ames, The Iowa State University Press. 1979. 349p.

MMA. **Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do cerrado e pantanal.** Brasília. Ministério do Meio Ambiente. 1999. 26 p.

MONJE, O. A.; BUGBEE, B. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters. **Hotscience.** 1992. v. 27, p. 69-71.

NIKOLOPOULOS, D.; KORGIOPOULOU, C.; MAVROPOULOS, K.; LIAKOPOULOS G.; KARABOURNIOTIS, G. Leaf anatomy affects the extraction of photosynthetic pigments by DMSO. **Talanta.** 2008.**76:** 1265–1268.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, YOSIO EDEMIR. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: **Parêntese,**

2010.

RIBEIRO J.F e WALTER B.M.T. As Principais Fitofisionomias de Cerrado. **Embrapa Cerrados**. 2008. Vol.1. p.151 -212.

PORRA R. J.; THOMPSON W. A.; KRIEDEMANN P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. **Biochim Biophys Acta**. 1989. 975:384-394.

RIBEIRO, E. P. SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2 ed. SP: Edgard Bllucher , 2007.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In **Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2008. p.151-213.

RICHARDSON A. D, DUIGAN S. P, BERLYN G. P An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**. 2002. P.153: 185–194.

SCHWARTZ S. J. LORENZO, T. V. Chlorophyll in foods.Crit. **Rev. Food Sci. Nutr.**, Fort Lauderdale, 1990. v.29, p.1-17.

SHIRLEY, H. L. The influence of light intensity and light quality upon the growth of plants. **American Journal of Botany**, New York. 1929. 16:358-89.

SILVA, W. G. **Análise geomorfológica como suporte à gestão ambiental: um estudo de caso**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, (Trabalho de Conclusão do Curso - Graduação em Ecologia). 1998. 123 p.

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, 2002. p. 337-354.

TAIZ L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TINOIA, J.; RAKARIYATHAM, N.; DEMING, R. L. Simplex optimization of carotenoid production by *Rhodotorula glutinis* using hydrolyzed mung bean waste flour as substrate. **Process Biochemical**, 2005. v. 40, Issue 7, p. 2551-2557.

VON ELBE J. H. Colorantes. In: FENNEMA, O.W. **Química de los alimentos**. 2.ed. Zaragoza : Wisconsin - Madison, Cap.10. 2000. p.782-799.

WATRIN, O. S.; MACIEL, M. N. M. **Introdução em técnicas de sensoriamento remoto**. Belém: UFRA, 2005. 50p.

WELBURN, A. R.. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**. 1994. 144: 307-313.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo : EPU-EDUSP, 1982. 101p.

WWF – FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA. **De grão em grão o Cerrado perde espaço**. Impactos do Processo de Ocupação. Brasília: WWF/Fundação Pró-Cerrado. 1995. 66 p.