

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

RENAN HENRIQUE CASARIM DE ALBUQUERQUE

**COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS DE ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO UTILIZANDO DADOS DO SATÉLITE WORLDVIEW-2
NO PARQUE ESTADUAL DO LAGO AZUL, CAMPO MOURÃO E
LUIZIANA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CAMPO MOURÃO
2013**

RENAN HENRIQUE CASARIM DE ALBUQUERQUE

**COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS DE ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO UTILIZANDO DADOS DO SATÉLITE WORLDVIEW-2
NO PARQUE ESTADUAL DO LAGO AZUL, CAMPO MOURÃO E
LUIZIANA-PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de trabalho de conclusão de curso II, do curso superior de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Dr. José Hilário Delconte Ferreira

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2013

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu professor orientador Dr. José Hilário Delconte Ferreira, pelos conhecimentos passados durante o curso nas disciplinas que ministrou e pela grande ajuda e orientação para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de sala, Diego Arruda, Diego Bongiorno e Vinícius Martins, por todos os trabalhos realizados e publicados.

A minha família, em especial aos meus pais, Ana e Gabriel e ao meu irmão Rafael, por sempre estarem por perto me dando apoio para vencer desafios desde que me conheço por gente.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à família Broetto, por serem minha família também, em especial há Santclair, por todas as conversas e conselhos, e minha namorada Clarissa por todos os carinhos, risadas, viagens, felicidades e por sempre conseguir fazer meu dia melhor apenas com seu sorriso.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ALBUQUERQUE, Renan H. C. Comparação entre metodologias de índices de vegetação utilizando dados do satélite Woldview-2 no Parque Estadual do Lago Azul, Campo Mourão e Luiziana-PR. 2013. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

O objetivo do presente trabalho foi estudar dez diferentes métodos de índices de vegetação a fim de gerar informações para melhor visualização da vegetação na área do Parque Estadual do Lago Azul, localizado nos municípios de Campo Mourão e Luiziana no Estado do Paraná, utilizando imagens de alta resolução provenientes do satélite Worldview-2. As imagens utilizadas foram cedidas pelo laboratório de geoprocessamento, vinculado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)-Câmpus Campo Mourão, e foram tiradas em 29 de julho de 2010, fornecidas no formato *geotiff* nas respectivas bandas espectrais, azul (BLUE), vermelho (RED), verde (GREEN) e infravermelho próximo (NIR). Para se trabalhar as imagens foi utilizado o programa de geoprocessamento SPRING 5.1, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza análises espaciais por meio de álgebra de mapas. Após as imagens de cada índice ser gerado, cada uma delas foi analisado visualmente para ver qual melhor representaria a vegetação na área de estudo. Ao fim das análises foi verificada que, dado a particularidade de cada índice e suas características específicas, a melhor hipótese é a de se considerar a complementaridade entre os índices para a formação de uma imagem que geraram dados e resultados satisfatórios para o melhor conhecimento da dinâmica entre a vegetação e outros fenômenos na área de estudo. Estes índices e suas diferentes combinações devem servir de base para outros estudos.

Palavras chave: Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico. Álgebra de mapas. Bandas espectrais. Índice de vegetação

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Renan H. C. Comparison between methods of vegetation indices using Woldview-2 satellite data in Lago Azul State Park, Campo Mourão and Luiziana-PR. 2013. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

The goal of this work was to study ten different methods of vegetation indices to generate information for better visualization of the vegetation in the area of Blue Lake State Park, located in the municipalities of Campo Mourao and Luiziania in Paraná, using images of high resolution from the Worldview-2 satellite. The images used were provided by the geoprocessing laboratory, linked to the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Campo Mourao, and were taken on July 29, 2010, provided in geotiff format the respective spectral bands, blue (BLUE), red (RED), green (GREEN) and near infrared (NIR). To work with the images was used the geoprocessing program SPRING 5.1, from the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), and the Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), a query language and spatial manipulation which performs spatial analysis through maps algebra. After pictures of each index generated, each was visually analyzed to see which best represent the vegetation in the study area. At the end of the analysis was verified that, given the particularity of each index and its specific characteristics, the best hypothesis is to consider the complementarity between the indices to form an image which data generate satisfactory results for a better understanding of the dynamics between vegetation and other phenomena in the study area. These indexes and their different combinations should be the basis for other studies.

Keywords: Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico maps algebra. spectral bands. Vegetation index

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESPOSTA ESPECTRAL DOS DOSSÉIS.....	12
FIGURA 2 – CURVA DE REFLECTÂNCIA DE DIFERENTES CULTURAS.....	12
FIGURA 3 - INTERAÇÃO FOLHA REM	13
FIGURA 4 – ESQUEMA DA TEORIA DE SINCLAIR.....	13
FIGURA 5 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
FIGURA 6 – NDVI MONOCROMÁTICO.....	20
FIGURA 7 – NDVI MONOCROMÁTICO.....	21
FIGURA 8 – SAVI MONOCROMÁTICO.....	22
FIGURA 9 – OSAVI MONOCROMÁTICO.....	23
FIGURA 10 – MSAVI MONOCROMÁTICO	24
FIGURA 11 – MCARI1 MONOCROMÁTICO.....	25
FIGURA 12 – MTVI1 MONOCROMÁTICO.....	26
FIGURA 13 –MCARI2 MONOCROMÁTICO.....	27
FIGURA 14 – EVI MONOCROMÁTICO.....	28
FIGURA 15 – BALANÇO MTVI2 MONOCROMÁTICO.....	29
FIGURA 16 – COMPOSIÇÃO EVI_MCARI1_BLUE.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3 METODOLOGIA	15
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO.....	16
3.3 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

Com a preocupação ambiental, a corrida por conhecimento e estudos nessa área vem aumentando, visando encontrar formas mais simples e economicamente viáveis para a solução de problemas ambientais.

Pensando nisso, o presente trabalho busca contribuir com os estudos recentes trazendo um comparativo entre dez métodos. A escolha dos métodos ocorreu por serem os possíveis de fazer com as bandas espectrais contidas na imagem, diferentes de Índices de Vegetação, utilizados em uma imagem do Parque Estadual do Lago Azul situado nos municípios de Campo Mourão e Luiziania – PR.

A utilização de sensoriamento remoto possibilita realizar levantamentos das áreas ocupadas pela vegetação natural, atividades agropecuárias e áreas urbanas, e, conseqüentemente, obter a caracterização dos tipos e categorias de vegetação que revestem determinado espaço (CUNHA ; BRITO, 2007).

O aumento na utilização de imagens orbitais é consequência, principalmente, do baixo custo de seus produtos, fato comprovado quando comparados a tradicionais métodos fotogramétricos e topográficos (ROSENDO, 2005).

Florenzano (2002) cita que imagens com resolução espacial de trinta metros, quando utilizadas na classificação de uso do solo, mostram-se às vezes confusas no que tange à diferenciação visual entre florestas nativas e de silvicultura, por esse motivo foi utilizada uma imagem com resolução espacial de 0,5 metro.

A cobertura vegetal é um fator de extrema importância na manutenção dos recursos naturais renováveis. “Além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo através da ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, mantendo a umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica” (BELTRAME, 1994, p.14). Essa vegetação funciona como uma forma de proteção dos recursos naturais e, por essa razão, sua distribuição e densidade definem o estado de conservação do ambiente.

Dessa forma, analisar a densidade e espacialidade da cobertura vegetal, vem se tornando um importante mecanismo para estudos voltados para análise de áreas degradadas, manejo de recursos naturais, compreensão dos processos

hidrológicos e morfológicos dos ambientes, diagnóstico do dinamismo no espaço agrário, entre outras finalidades.

Entre as metodologias utilizadas na estimativa de parâmetros da vegetação podemos citar como exemplo, o índice de área foliar (Holben *et al.*, 1980; Baret ; Guyot, 1991) e a quantidade de biomassa verde (Tucker, 1979; Elvidge ; Lyon, 1985). Embora muitos índices vegetativos existam atualmente o mais usado e conhecido é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN). Ele é um índice adimensional indicativo da densidade, saúde e estado da vegetação, sendo calculado por meio das bandas do visível (VIS), no comprimento de onda na banda do vermelho, e o infravermelho próximo (NIR).

Os valores do IVDN oscilam entre -1 e $+1$. Onde valores negativos correspondem à presença de água e valores positivos representam uma vegetação exuberante, grande quantidade de biomassa. Esse índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial, como também sua evolução no decorrer do tempo.

Há um grande interesse no estudo da vegetação devido à importância de seus dados para a economia, agricultura, estudo de impactos ambientais, entre outros estudos. Na tentativa de minimizar o impacto dos fatores de distribuição da reflectância, diversos autores se baseiam nos índices existentes para elaborar um melhor trabalho, fazendo com que os efeitos dos fatores sejam diminuídos ao ponto de corrigi-los ou modifica-los para o menor erro possível.

Assim, o trabalho se justifica na demonstração de utilização de índices de vegetação melhorados, com o objetivo de se ter rigorosidade e seletividade na escolha do Índice de Vegetação mais apropriado para a área e para o objetivo de estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A coleta de informações sobre os recursos utilizáveis pelo homem e suas distribuições geográficas sempre foram atividades importantes para o desenvolvimento das sociedades. Segundo Thome (1998), os primeiros mapas surgiram há cerca de 5.000 anos, sem escalas e apenas com esboços, porém com o

tempo foram sendo criadas e estudadas técnicas de como armazenar e utilizar melhor essas informações, nascendo assim às ciências cartográficas.

Dentre essas novas tecnologias desenvolvidas para os estudos cartográficos estão a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que de acordo com Teixeira (1995) podem ser definido como conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas, perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, armazenamento, processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada da sua aplicação.

Os SIG's revolucionaram a monitorização e gestão dos recursos naturais e uso do solo, por serem capazes de analisar uma grande quantidade de informações simultaneamente fazendo com que, recentemente, tenha havido um crescente interesse na utilização de ferramentas com recurso de SIG como um suporte de apoio à decisão (EASTMAN *et al.*, 1993).

A categoria de parque tem como objetivo a manutenção e preservação de ecossistemas de elevada relevância estética e ecológica, tornando a pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de sócio-educacionais de interpretação ambiental possíveis (BRASIL, 2002).

O Parque Estadual Lago Azul (PELA) foi criado pelo Decreto Estadual n.º3.256 de 30 de Junho de 1997, com área total de 1.749,01, sendo aproximadamente 1.100,00 hectares de lâmina d'água do Reservatório da Usina Mourão e o restante de ambiente terrestre, o PELA tem seu centro geográfico localizado nas coordenadas 52° 20' de Longitude Oeste e 24° 04' de Latitude Sul, situando o parque dentro dos municípios de Campo Mourão e Luiziania, no interior do Paraná.(IAP, 2005)

O ecossistema florestal apresenta amostras da Floresta Estacional Semidecidual Submontana e da Floresta Ombrófila Mista, sendo possível identificar, claramente, uma zona de contato (transição) entre esses dois biomas(SOLVALAGEM, 2012)

A cobertura florestal encontrada no Parque é constituída, em sua maior parte, por uma floresta secundária em vários estágios sucessionais e pelo plantio de espécies nativas e exóticas conduzido pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) (IAP, 2005)

, Mesmo que a área de transição entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual se encontre alterada, constitui-se de uma área de

preservação significativa levado em conta as espécies encontradas e com as considerações de Veloso *et al.* (1991), pois a vegetação natural remanescente, serve de base para estudos sobre a dinâmica de aspectos ecológicos, para entender melhor as relações e interações históricas da distribuição natural da vegetação e desta forma encontrar as melhores ações para a conservação da biodiversidade.

A interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente após se verificar que a vegetação extrai a energia que utilizam para sobreviver da REM proveniente do Sol. Esses estudos se multiplicam devido ao sensoriamento remoto que é uma das tecnologias que mais contribuíram ao avanço nos conhecimentos de como a vegetação processa essa radiação eletromagnética.

A maneira como uma planta solitária ou um agrupamento de plantas é visto, seja pelo olho humano ou por um sensor multiespectral, depende essencialmente da interação dessa planta ou agrupamento com a radiação (MOREIRA ; ASSUNÇÃO, 1984). Essa restrição ocorre porque sempre há outros tipos de vegetação que ocupam o estrato inferior do solo e que disputam com as plantas predominantes, água e nutrientes do solo (MOREIRA, 2001), além da influência de diversos outros fatores tais como influência de superfícies desfolhadas, mudanças no ângulo de iluminação e orientação das folhas (CURRAN, 1985). Diante do exposto a Figura 1 apresenta os fatores que influenciam na resposta espectral dos dosséis, enquanto a Figura 2 mostra a curva de refletância de diferentes culturas.

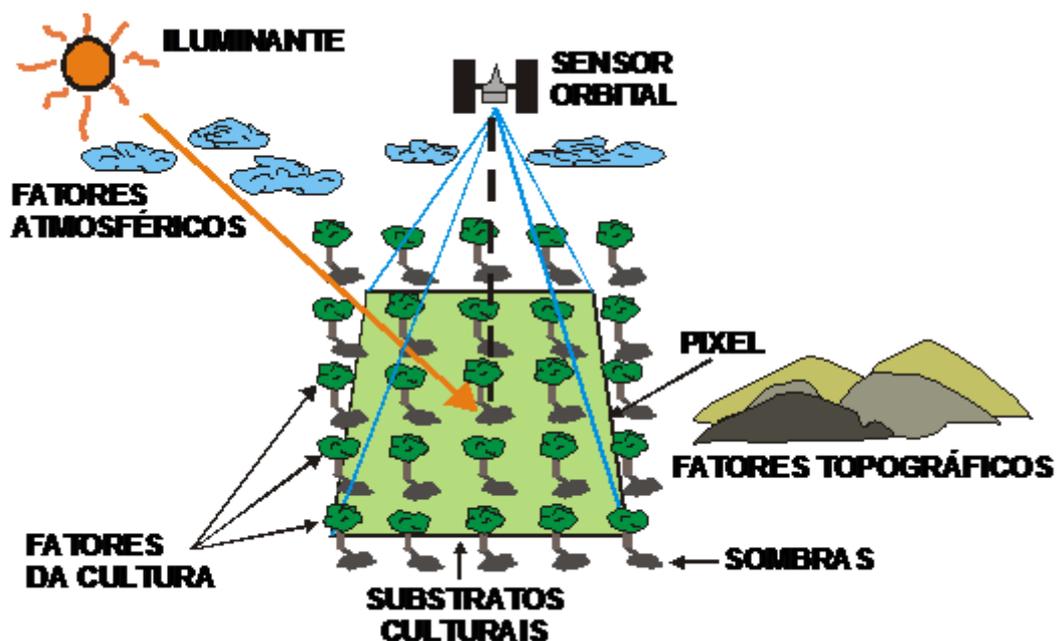


Figura 1 – Fatores que influenciam na resposta espectral dos dosséis.
Fonte: adaptado de Epiphanyo et al (1994)

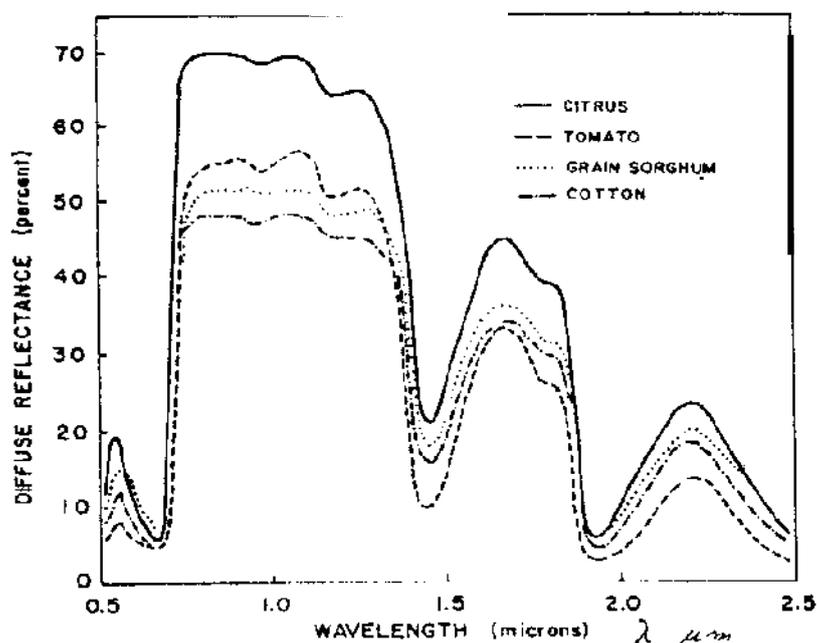


Figura 2 – Curva de reflectância de diferentes culturas.
Fonte: adaptado de Epiphanyo et al (1994)

O principal elemento para a identificação das vegetações é a folha, devido seu relacionamento com o processo de reflectância da radiação incidente e o seu comportamento espectral (Figura 3), está correlacionado com sua composição química, morfológica e estrutura interna (CURRAN, 1985) (STEFFEN, 1996).

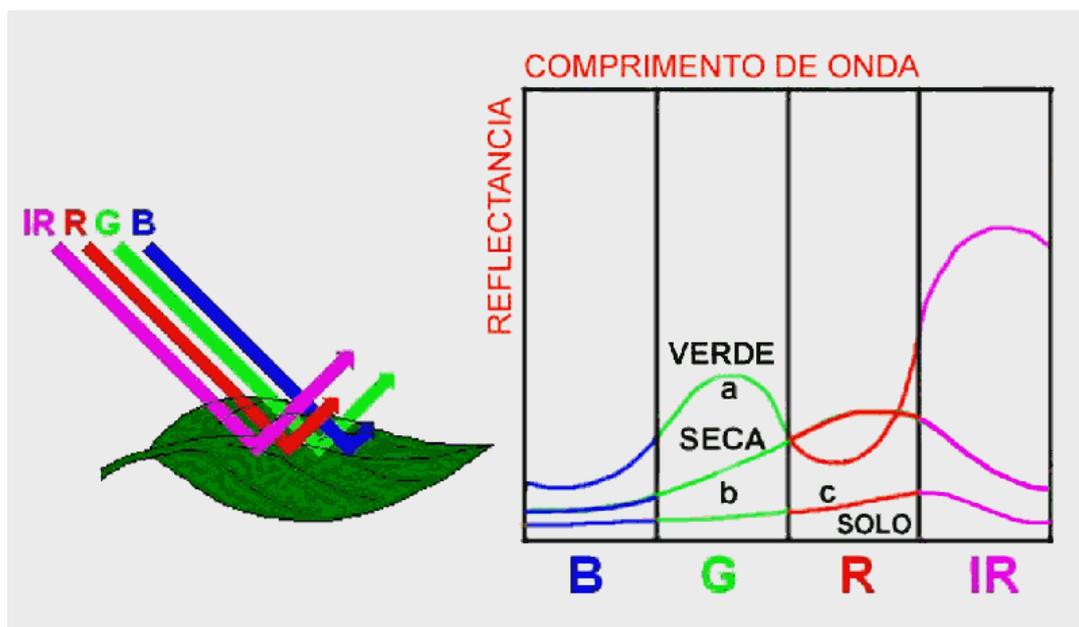


Figura 3 – Interação Folha REM.
 Fonte: adaptado de Epiphany et al (1994)

A refletividade da folha no NIR está relacionada com o número de espaços de ar existentes entre células. A refletividade é maior quanto maior for o número de espaços de ar dentro da folha, devido a REM. As ondas passam com maior frequência das partes da folha que tem alto índice de refração para aquelas partes que têm baixo índice de refração. Esta propriedade é conhecida como Teoria de SINCLAIR (Figura 4) (JACKSON, 1983)

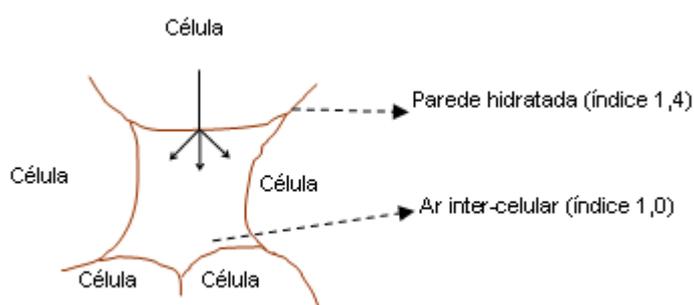


Figura 4 – Esquema da Teoria de SINCLAIR.
 Fonte: adaptado de Epiphany et al (1994)

Dentro das folhas as clorofilas A e B regulam o comportamento espectral da vegetação de uma melhor maneira em comparação com outros pigmentos. A clorofila absorve a luz verde só em pequena quantidade, por isso a reflectância é

maior no intervalo da luz verde, por isso os seres humanos veem a cor verde nas folhas.

Os índices de vegetação foram criados para ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal.

Geralmente são obtidos a partir da combinação de duas ou mais bandas espectrais e espera-se que essa combinação forneça informações estáveis sobre a superfície em comparação com as medidas de reflectância (JACKSON ; HUETE, 1991).

O aspecto da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto vem de um processo que envolve complexos parâmetros e fatores ambientais. Dentre esses fatores, temos como exemplo, as características do dossel, das folhas, a radiação absorvida e refletida, espalhamento atmosférico, o nível de sombreamento da área, entre outros.

Para diminuir a variação causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação. Normalmente os índices utilizam a informação contida nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo.

As bandas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, devido às mesmas terem 90% da variação da resposta espectral da vegetação. Dessa forma, realçando o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma (ROSA, 2003).

Os índices de vegetação realçam o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF) e percentagem de cobertura vegetal (EPIPHANIO *et al.*, 1992). Assim aumentando o brilho da área vegetada fazendo com que a mesma seja facilmente interpretada visualmente devido a seu destaque. Segundo Silva, 2004, há a suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais podem minimizar as interferências na resposta da vegetação ao sensor, levando a crer que não é somente pelas energias refletidas no vermelho e no infravermelho próximo que a atividade fotossintética da vegetação se relaciona.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Lago Azul que se encontra no município de Campo Mourão e Luiziana, localizados na Meso-região Centro Ocidental paranaense, entre as coordenadas geográficas de 24°2' de latitude Sul e 52°22' de longitude Oeste (Figura 5). Possui o distrito de Piquirivaí, localizado à Sudoeste da área, e tem como limites territoriais os seguintes municípios: ao Norte Peabiru, a Nordeste Quinta do Sol, a Leste Barbosa Ferraz, ao Sul Luiziana, a Oeste Farol e a Noroeste Araruna.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendências de concentrações de chuvas nos meses de verão (IAPAR, 1978).

Geomorfologicamente encontra-se inserido no Terceiro Planalto paranaense entre os rios Piquiri e Ivaí, apresentando em quase toda a área um relevo suave composto por encostas côncavas, convexas e côncavas-convexas com inclinações em torno de 3° a 6°. As áreas com declividades mais acentuadas do município localizam-se na região nordeste, com inclinações em torno de 6° a 12 ° (MAACK, 1968).

As classes de solos encontrados na região são os Latossolos Vermelhos, Nitossolo Vermelho, Cambissolo, Neossolo Litólico e mais raramente organossolos provenientes do basalto. Normalmente esses solos apresentam textura variando de argilosa para muito argilosa (BRASIL, 2006).

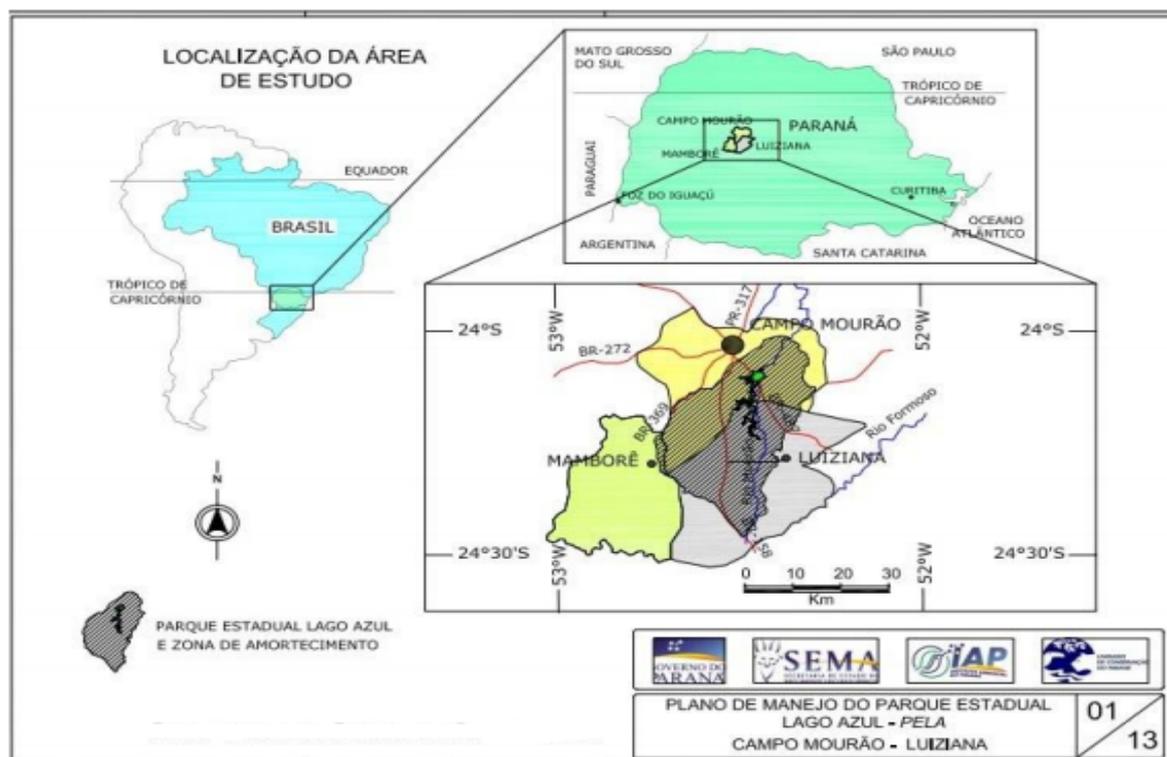


Figura 5 – Localização da área de estudo.

Fonte: PARANÁ, (1990) editado por Gasques (2012)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO

A vegetação do Parque, está inserida em uma área de ecótono, abrangendo, Floresta Ombrófila Mista (FOM), a Floresta Estacional Semidecidual Submontana (FESM), e fragmentos de Cerrado. Levando a grande diversidade de fauna e flora, tanto nativa como exótica. (IAP, 2005)

3.3 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação utilizados no presente trabalho foram os seguintes:

a) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo (Rouse et al, 1974):

NDVI:

$$(NIR) - (RED) / (NIR) + (RED) \quad (1)$$

b) GREEN NDVI (NDVIg), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do verde e infravermelho próximo (Gitelson et al, 1996)

NDVIg:

$$(NIR) - (GREEN) / (NIR) + (GREEN) \quad (2)$$

c) Soil-adjusted vegetation index (SAVI), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo (HUERTE, 1988):

SAVI:

$$(1 + L) \times (NIR - RED) / (NIR + RED + L) \quad (3)$$

Onde,

L: 0,5;

d) Optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo (ROUNDEAUX et al, 1996):

OSAVI:

$$(1 + 0.16) \times (NIR - RED) / (NIR + RED + 0.16) \quad (4)$$

e) Modified soil-adjusted vegetation index (MSAVI), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo (Qi et al, 1994):

MSAVI:

$$[2\text{NIR} + 1 - ((2\text{NIR} + 1)^2 - 8(\text{NIR} - \text{RED}))^{0.5}]/2 \quad (5)$$

f) Modified Chlorophyll absorption in reflectance index1 (MCARI1), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho, verde e infravermelho próximo (DAUGHTRY *et all* 2000):

MCARI1:

$$1.2[2.5(\text{NIR} - \text{RED}) - 1.3(\text{NIR} - \text{GREEN})] \quad (6)$$

g) Modified Triangular vegetation index1 () MTVI1) o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho, verde e infravermelho próximo (HABOUDANE *et all* 2004):

MTVI1:

$$1.2[1.2(\text{NIR} - \text{GREEN}) - 2.5(\text{RED} - \text{GREEN})] \quad (7)$$

h) Modified Chlorophyll absorption in reflectance index2 (MCARI2), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho, verde e infravermelho próximo (ZARCO *et all* 2001):

MCARI2:

$$1.5[2.5(\text{NIR} - \text{RED}) - 1.3(\text{NIR} - \text{GREEN})]/[(2\text{NIR} - 1)^2 - (6\text{NIR} - 5(\text{RED})^{0.5}) - 0.5]^{0.5} \quad (8)$$

i) Enhanced vegetation index (EVI), o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho, azul e infravermelho próximo (HUETE *et all*, 2002):

EVI:

$$G(\text{NIR} - \text{RED})/(\text{NIR} - \text{C1} \times \text{RED} - \text{C2} \times \text{BLUE} + \text{L}) \quad (9)$$

Onde,

G=2.5;

L=1;

C1=6;

C2=7.5;

j) Modified Triangular vegetation index2 (MTVI2) o qual consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho, verde e infravermelho próximo:

MTVI2:

$$1.5[1.2(NIR - GREEN) - 2.5(RED - GREEN)] / [(2NIR - 1)^2 - (6NIR - 5(RED) - 0.5)^{0.5}]^{0.5}$$

(10)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise visual entre o NDVI, Figura 6, e o NDVIg, Figura 7, é possível ver pequenas diferenças em alguns pontos de floresta e silvicultura, representados nas imagens como pontos pretos, onde não ocorre a refletância e captação de radiação pelo satélite. Esse fato acontece pois, no NDVI, a banda vermelha é usada para medir a biomassa e calcular as variações de estado da vegetação, mas só é sensível a baixa concentração de clorofila-a, enquanto a banda verde é sensível a uma grande concentração de clorofila-a (GITELSON *et al*, 1997). Levando a ver em casos em que a clorofila-a é de grande interesse no estudo é preferencial o uso do GREEN NDVI, ao invés do NDVI.



Figura 6 – NDVI Monocromático.



Figura 7 – NDVIg Monocromático.

Nas imagens SAVI Figura 8, OSAVI Figura 9, e MSAVI Figura 10, pode-se perceber uma melhora não só na identificação da vegetação comparado aos índices anteriores, como também uma melhor visualização dos solos, devido estes índices terem sido criados para minimizar a influencia e o brilho do solo de fundo das imagens. Regiões de solo exposto têm altas reflectâncias em todas as regiões do espectro eletromagnético, com uma gama de respostas dependente de sua constituição química e umidade.

Na região do NIR, assim como a vegetação, os solos, e rochas, apresentam reflectâncias altas. Porém, na banda termal, as distinções entre solos e plantas são mais acentuadas. O elemento L presente nas formulas de SAVI e OSAVI é fator

crítico na minimização dos efeitos ópticos de reflectância da vegetação em propriedades dos solos, normalmente com um ajuste de 0,5 pode ser usado em diferentes densidades de vegetação e tipos de solo diferentes (HUETE, 1988). Já o MSAVI é projetado especificamente para áreas com vegetação baixa para minimizar o efeito de solo nu (Qi *et al.*, 1994)



Figura 8 – SAVI Monocromático.



Figura 9 – OSAVI Monocromático.



Figura 10 – MSAVI Monocromático.

Nos índices MCARI1 (Figura 11) e MTVI1 (Figura 12), as formações vegetais ficam em maior evidência, podendo ser diferenciadas pelas texturas na imagem de cada um. Segundo Daughtry *et al.* 2000 MCARI foi desenvolvido para ser sensível à variação da clorofila, devido o índice de área folhear (IAF), clorofila, e clorofila por área folhear apresentarem interação, respectivamente, para 60%, 27% e 13% da variação. Portanto, MCARI detém um grande potencial para as previsões de IAF Já o índice MTVI1 se baseia na em uma triangulação, formada pelas bandas RED GREEN e NIR, diminuindo a reflectância da banda vermelha e aumentando a reflectância no infravermelho próximo melhorando a visualização de folhas de tecido (BROGE & LEBLANC, 2000)



Figura 11 – MCARI1 Monocromático.



Figura 12 – MTVI1 Monocromático.

Já os índices MCARI2 (Figura 13), e MTVI2 (Figura 15), seguem o mesmo padrão de formulação dos índices anteriores, porém na região de estudo as imagens geradas não foram tão boas quanto as anteriores, sendo que somente o MCARI2 ainda consegue ter uma diferenciação apenas da floresta nativa e mata ciliar, baseada em conhecimentos prévios. Esse fato talvez possa ser corrigido com o uso de outras variáveis para o formulação dos índices, ficando aberta a possibilidade de novos trabalhos.



Figura 13 – MCARI2 Monocromático.

Outro ponto importante refere-se, à incorporação da faixa espectral do azul à equação do EVI, de modo a minimizar as interferências atmosféricas, pois a diferença entre a radiância do comprimento de onda do azul e do vermelho seria utilizada para correção do espalhamento atmosférico e da absorção de ozônio (KAUFMAN & TANRÉ, 1992).

O azul corresponde também à faixa do espectro utilizada para fotossíntese pelas plantas que ocupam sub-bosques, devido o comprimento de onda do vermelho ter sua radiação incidente utilizada pelas plantas do dossel, as plantas que se encontram em estratos inferiores utilizam comprimentos de onda referentes ao azul (CRAWLEY, 1986).

É possível ver no EVI, Figura 14, essas diferenças nos estratos da vegetação, na presença de clareiras naturais no interior dos fragmentos e no acúmulo de sedimentos em uma parte do lago. Para essa visualização ficar mais clara é preciso formar uma imagem com os PI's EVI como a banda vermelha, MCARI1 como o verde e BLUE como a banda azul, gerando assim a Figura 16.

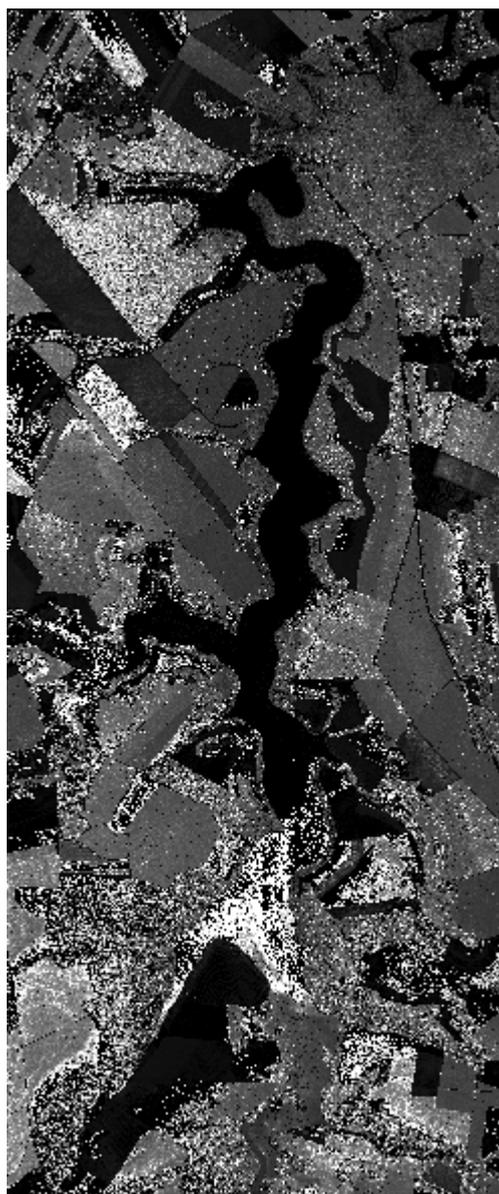


Figura 14– EVI Monocromático.

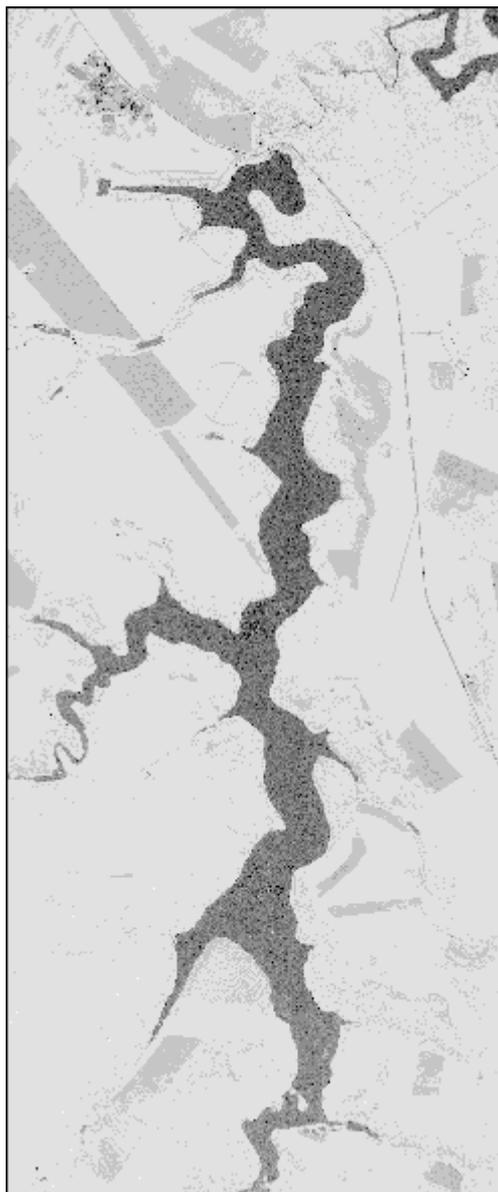


Figura 15 – MTVI2 Monocromático.

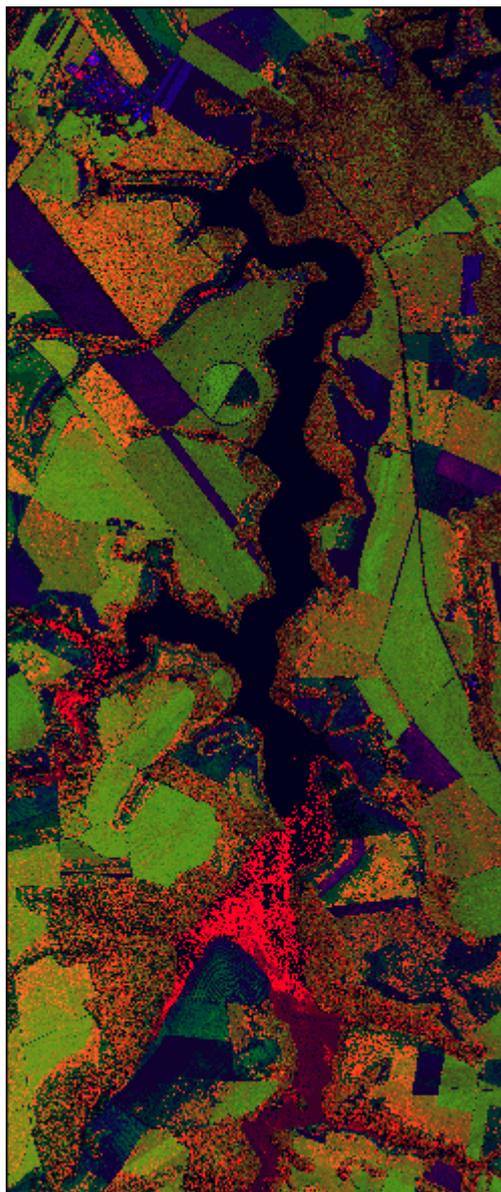


Figura 16 – Composição EVI_MCARI1_BLUE.

5 CONCLUSÃO

Com Base nas análises feitas dada a particularidade de cada índice às características específicas, fica claro que para se obter uma imagem com melhor visualização dos alvos requeridos a melhor hipótese é a de se considerar a complementaridade entre os índices.

Vale resaltar que não são tão facilmente encontrados estudos sobre os índices de vegetação em artigos, a não ser o NDVI por ser um método clássico, deixando ainda maior a importância de estudos como este sobre o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARET, F.; GUYOT, G., Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, **Remote Sensing of Environment.**, 35, 161–173, 1991.

BELTRAME, Angela. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 julho de 2000. Decreto nº 4940, de 22 de agosto de 2002 SNUC: **Sistema nacional de unidades de conservação da natureza.** Brasília: Ibama,2002.

CRAWLEY, M.J. **Plant ecology.** Blackwell scientific publications, Oxford, 1986

CUNHA, Djane.J.A.I.; BRITO, Jorge L. S. . Mapeamento das áreas de silvicultura do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, utilizando imagens de satélite CCD/CBERS2. **Horizonte Científico**, v. 1, n 7, p. 1-24, 2007

CURRAN, Paul.J. **Principles of remote sensing.** London: Logman Scientific, 1985. 260 p.

DAUGHTRY, Craig. S. T. WALTHALL, Charles. L., KIM, Myungshik. S., BROWN Eric de C, &MCMURTREY III, James. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment.**, 2000 74,229 – 239.

EPIPHANIO, José. C. N.; LEONARDI, Lucas.; FORMAGGIO, Antônio. R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v. 29, n. 3, p. 439-447, mar. 1994.

EPIPHANIO, José.C.N.; FORMAGGIO, Antônio.R.; VALERIANO, Márcio.M.; OLIVEIRA, João.B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo.** São José dos Campos : INPE, 1992. 131p

EASTMAN, J. R.; JIN, W; KYEM, P.A.K.; TOLEDANO, J. Gis and Decision Making, In. **Explorations in Geographic Information System Technology**. Genebra: UNITAR. Vol. 4, 112 p, 1993.

ELVIDGE, C; LYON R., Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass, **Remote Sensing of Environment**, 1985 17:265-279

FLORENZANO. Teresa G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**, 2002. Oficina de textos, São Paulo, 97 páginas.

GASQUES, A. C. F. **UTILIZAÇÃO DE IMAGEM WORLDVIEW-II PARA O LEVANTAMENTO DA OCUPAÇÃO VEGETAL DA ÁREA DE ENTORNO DO RESERVATÓRIO DA USINA MOURÃO NO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO-PARANÁ**. Sicite 2012. 2012.

GITELSON A A, KAUFMAN Y, MERZLYAK M N., Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. **International Journal of Remote Sensing**, 1997, 18(12): 2691-2697.

GITELSON A A, KAUFMAN Y, MERZLYAK M N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 1996, 58: 289-298.

HABOUDANE, D., MILLER, J. R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P. J. & DEXTRAZEC L. **Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture**. **Remote Sensing of Environment** 2002,81:416-426.

HABOUDANE, D., MILLER, J. R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P. J. & STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, 2004, 90, 337-352.

HOLBEN, B.N., C.J. Tueker, and Cbeng-Jen Fan. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photo. Engennier. and Remote Sensing** 1980 46:651-656..

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. **Remote Sensing of Environment**, 1988 25, 295-309.

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X. & FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 2002, 83, 195-213

IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná). **Cartas climáticas das bacias do Estado do Paraná**. Londrina, Iapar, 1978, 38p.

IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Plano de Manejo do Parque Estadual Lago Azul** / Instituto Ambiental do Paraná, Diretoria de Biodiversidade e Áreas Protegidas. (Agosto, 2005) - Curitiba: IAP/DIBAP, 2005. 270p

Jackson, R.D., Slater, P.N. and Pinter, P.J. Jr. . Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of Environment** 13, 1983, p187-208.

JACKSON, R. D. & HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, 1991 11, 185-200.

KAUFMAN, Y. J. & TANRÉ, D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.2, 1992.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: Banco de desenvolvimento do Paraná, Universidade Federal do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas, 1968. 350 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250p.

MOREIRA, M.A.; ASSUNÇÃO, G.V. **Princípios básicos, metodológicos e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura**. São José dos Campos: INPE, 1984. 70p.

QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A. R., KERR, Y. H. & SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, 1994 48, 119-126.

RONDEAUX, G., STEVEN, M. & BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 1996 55, 95-107.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Eduf, 2003. 135 p

ROSENDO, J. dos S. R. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. & DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In: Proceedings of the Third ERTS Symposium*, 1973 Washington DC. 309-317.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias**. 2004, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SOLVALAGEM, A. C. M. **Composição Florrística de petridófitas da Estação Ecológica Municipal de Luiziana (ES.EC.M.L.), em Luiziana, PARANÁ, BRASIL, e do Parque Estadual do Lago Azul(PELA), EM CAMPO MOURÃO, PARANÁ, BRASIL** Sicite 2012. 2012.

STEFFEN, C.A. Fundamentos de radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. p.1-17.

TEIXEIRA, A et al. (1995). Qual a melhor definição de SIG. **Revista Fator GIS**, n. 11. Curitiba

THOME, Rogério. **Interoperabilidade em geoprocessamento: conversão entre modelos conceituais de sistemas de informação geográfica e comparação com o padrão Open GIS**. Tese (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São Paulo: defendido em 29 de setembro de 1998

TUCKER, Collins. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing Environment**. , 1979; 8:127 150

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.R. ; LIMA, I.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema Universal**. Rio de Janeiro. IBGE/DERMA, 1991 124p.

ZARCO-Tejada, P. J., MILLER, J. R., NOLAND, T. L., MOHAMMED, G. H., &SAMPSON, P. H. (2001). Scaling-up and model inversion methods with narrow-

band optical indices for chlorophyll content estimation in closedforest canopies with hyperspectral data. **IEEE Trans. Geosci. RemoteSens.**, 39(7), 1491 – 1507