

UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Aline Braga Marcussi
FCAU/UNESPE Jaboticabal
aline_bmarcussi02@hotmail.com

Célia Regina Paes Bueno
FCAU/UNESPE Jaboticabal
crbueno@fcav.unesp.br

Daniela Popim Miqueloni
FCAU/UNESPE Jaboticabal
danimique@yahoo.com.br

Christiano Luna Arraes
FCAU/UNESPE Jaboticabal
christianoarraes@yahoo.com.br

RESUMO

Os Índices de Vegetação (IV) são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e diagnosticar índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade; e têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global. O presente trabalho procurou abordar e descrever os principais índices de vegetação usados em sensoriamento remoto, ressaltando seus aspectos técnicos e suas equações por meio de extensa pesquisa bibliográfica. Assim, dentre os diversos índices propostos e o mais utilizado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Há IV que buscam cancelar o efeito do brilho do solo nos casos em que a vegetação é esparsa como o NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index); PVI (Perpendicular Vegetation Index); DVI (Difference Vegetation Index); SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index); TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index); MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index); WDVI (Weighted Difference Vegetation Index). Alguns IV foram criados para correção de efeitos atmosféricos de aerossóis (fumaça, partículas de poluição do ar, poeira): ARVI (Atmosphere Resistant Vegetation Index); EVI (Enhanced Vegetation Index). Os IV associados ao sistema de *informação* geográfica auxiliam e agilizam as mais diversas pesquisas, principalmente no monitoramento ambiental.

Palavras-chave: conceitos, aplicações, índices de vegetação, sistema de informação geográfica.

USE OF INDEX VEGETATION FOR THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

ABSTRACT

The Index Vegetation (IV) are mathematical models developed to assess and diagnose the canopy leaf area index, biomass, percentage of soil cover, photosynthetic activity and productivity, and have been used successfully to monitor changes in vegetation in scale continental, regional and global. This study sought to address and describe the main vegetation indices used in remote sensing, emphasizing the technical aspects and their equations through extensive literature search. Thus, among the various proposed indices and most used is the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). There are IV that have the main purpose of canceling the effect of the brightness of the soil where the vegetation is sparse: NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index), IVP (Perpendicular Vegetation Index), DVI (Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index); TSAVI (Transformed Vegetation Index Soil Adjusted); MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index); WDVI (Weighted Difference Vegetation Index). Some IV were created for the correction of atmospheric effects such as aerosols (smoke, particulate air pollution, dust): ARVI (Resistant Atmosphere Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index). The indices associated with geographic information system, assist

and speed the most diverse research, especially in the environmental monitoring.

Keywords: concepts, applications, index vegetation, geographic information system.

Princípios físicos em sensoriamento remoto

O Sol constitui-se na mais importante fonte de radiação natural para a Terra; a radiação eletromagnética (REM) é definida como sendo a forma de energia que se move à velocidade da luz, sendo em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, não necessitando de um meio material para se propagar no espaço (ROSENDI, 2005).

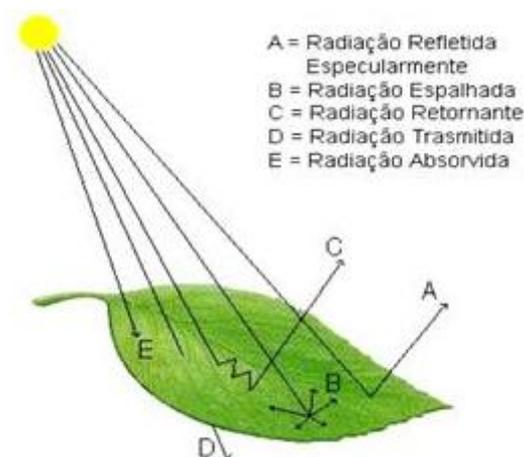
A representação contínua da radiação eletromagnética, em termos de comprimento de onda, frequência ou energia, é denominada espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é subdividido em faixas que representam regiões com características próprias, em termos de processos físicos de detecção de energia, como pode ser observado a seguir (ROSENDI, 2005):

- Raios Cósmicos, raios γ : ($< 0,003 - 0,4 \mu\text{m}$);
- Raios X: ($0,03 - 3,0 \text{ nm}$);
- Ultravioleta: ($0,003 - 0,4 \mu\text{m}$);
- Visível: ($0,4 - 0,72 \mu\text{m}$), azul ($0,45 - 0,50 \mu\text{m}$), verde ($0,50 - 0,54 \mu\text{m}$), vermelho ($0,65 - 0,72 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Próximo: ($0,72 - 1,3 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Médio: ($1,3 - 4,0 \mu\text{m}$);
- Infravermelho Distante: ($4,0 - 300 \mu\text{m}$);
- Microondas: ($1,0 - 100 \text{ cm}$);
- Ondas de Rádio: ($> 100 \text{ cm}$).

Dentre essas divisões do espectro eletromagnético, as mais utilizadas em Sensoriamento Remoto compreendem as faixas do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho distante e microondas.

No momento em que a radiação solar incide no topo da atmosfera, parte dessa radiação é espalhada e/ou refletida pelas partículas atmosféricas, outra parte atravessa a atmosfera e atinge o alvo; a partir daí, podemos observar três fenômenos que podem ocorrer com um fluxo de radiação eletromagnética ao interagir com um alvo, e que são de extrema importância para o Sensoriamento Remoto; dentre eles, Rosa (2003) destaca (Figura 1):

- Reflectância: a reflectância como sendo o quociente entre o fluxo de radiação refletido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação eletromagnética incidente.
- Transmitância: o fluxo de radiação transmitido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação incidente.
- Absortância: a razão entre o fluxo de radiação absorvido pelo alvo dividido pelo fluxo de radiação incidente.



Fonte: <http://www.wellesley.edu/Biology/Courses/108/108.html>

Figura 1. Interações da Radiação Eletromagnética com a folha

É por meio da quantificação da absorvância que o especialista em Sensoriamento Remoto poderá tirar conclusões importantes a respeito das condições de determinada cultura agrícola ou vegetação (MOREIRA, 2003). No entanto, quando se trata de Sensoriamento Remoto orbital ou suborbital, esta variável é geralmente estimada pela quantificação da parte refletida (por restrições tecnológicas dos equipamentos a bordo dos satélites orbitais ou em aeronaves) que registram somente a radiação refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre.

A vegetação é um alvo complexo do Sensoriamento Remoto; apresenta variadas propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta, múltiplos componentes refletores, não uniformidade de estrutura inter e intraplantas, além de assentar-se sobre um substrato constituído de solo ou restos vegetais que, por sua vez, apresentam propriedades de reflexão própria, contribuindo no processo de medição para a modulação das propriedades de reflexão da vegetação (EPIPHANIO et al., 1996).

O modo como uma planta ou comunidade de plantas é vista, seja pelo olho humano ou por um sensor multiespectral, depende fundamentalmente da interação dessa planta ou comunidade de plantas com a radiação (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984). As características que ocorrem nos espectros de refletância, transmitância e absorvância de uma folha são ocasionadas notadamente pelos pigmentos, pela estrutura e pela água em solução.

Assim, as análises da vegetação e detecção de mudanças são realizadas com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. Conseqüentemente, a detecção qualitativa da vegetação verde é uma das principais aplicações do Sensoriamento Remoto na tomada de decisões e gerenciamento ambiental do “alvo vegetação”. Por tais motivos, o presente trabalho procurou abordar e descrever sucintamente os principais índices de vegetação usados em sensoriamento remoto, ressaltando seus aspectos técnicos e suas equações por meio de extensa pesquisa bibliográfica.

Os diversos índices e conceitos

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e relacionam a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo tanto quantitativamente quanto qualitativamente (BARBOSA, 2006). São transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al, 1996). As equações dos índices são as ferramentas pelas quais essas transformações são efetuadas, sendo realizadas diretamente pelos sistemas de informação geográfica. As bandas das imagens de satélite são compostas por pixels, que por sua vez, são transformados diretamente pelas equações, ressaltando determinados aspectos inerentes a cada índice (ROSENDO e ROSA 2005).

Os índices são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (PONZONI, 2001).

Esses índices têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global (BANNARI et al, 1995 citado por BARBOSA, 2006). Esse sucesso deve-se a reflectância diferencial da clorofila nos comprimentos de onda do visível e infravermelho (BARBOSA, 2006).

São diversos os índices de vegetação utilizados e dentre eles tem-se:

- RVI (*Ratio Vegetation Index*): primeiro índice proposto por Pearson e Miller (1972), citado por BARBOSA (2006) baseia-se na razão de bandas do vermelho e infravermelho próximos representados pelas bandas 3 e 4 do TM e ETM+.

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

Em que: NIR: banda correspondente ao Infravermelho Próximo (Near Infra Red – NIR);

RED: banda correspondente ao vermelho.

- NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*): também foi proposto por Rouse et al. (1974) citado por EASTMAN (1998) foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo, utilizando primeiramente dados digitais do Landsat - MSS. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas (Figura 2).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

- Buscando reduzir a dependência do NDVI das propriedades atmosféricas alguns autores apresentaram proposições para minimizar estes efeitos. Gitelson et al. (1996) citados por MACHADO e LAMPARELLI (2007) enfatizando o uso do canal verde (VD), obteve o índice verde de resistência atmosférica (GARI) e o índice verde-vermelho de resistência atmosférica (GRARI) .
- RATIO (*Ratio Vegetation Index*): proposto por Rouse et al. (1974) citado por EASTMAN (1998) para separar vegetação verde de solo utilizando Imagem Landsat – MSS, é produzido por uma simples divisão de valores de reflectância contidos em bandas do infravermelho próximo por aqueles contidos na banda do vermelho.

$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

- TVI (*Transformed Vegetation Index*): proposto por Deering et al. (1975) modifica o NDVI para adicionar uma constante de 0,50 para todos os valores e efetuar a raiz quadrada dos resultados. A constante 0,50 é introduzida na equação para evitar operações com valores negativos de NDVI. O cálculo da raiz quadrada pretende corrigir os valores do NDVI introduzindo uma distribuição normal. Todavia, o uso do TVI requer que o valor mínimo NDVI introduzido seja maior que -0.5 para evitar abortar a operação (EASTMAN, 1998). Valores negativos ainda permanecerão menores que -0.5 para o NDVI. Além disso, não há nenhuma diferença técnica entre o NDVI e o TVI em termos de produção de imagem ou detecção de vegetação ativa.

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}} + 0.5$$

- CTVI (*Corrected Transformed Vegetation Index*): proposto por Perry e Lautenschlager (1984) citado por EASTMAN (1998) pretende corrigir o TVI adicionando a constante de 0.50 para todos os valores NDVI, nem sempre eliminando todos os valores negativos de NDVI, podendo ter um alcance de -1 a +1. Valores menores que -0.5 tornam-se valores negativos menores depois da operação de adição. Assim, o CTVI é elaborado para resolver essa situação dividindo o (NDVI + 0.50) por seu valor absoluto ABS (NDVI + 0.50) e multiplicando pela raiz quadrada do valor absoluto (SQRT [ABS(NDVI + 0.50)]).

$$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{|NDVI + 0.5|} \times \sqrt{|NDVI + 0.5|}$$

- TTVI (*Thiam's Transformed vegetation Index*): proposto por Thiam (1997) citado por EASTMAN (1998), cujo autor indicou que o resultado imagem do CTVI pode ser muito ruidoso devido a uma superestimação da vegetação verde. Para obter melhores resultados, Thiam sugeriu ignorar o primeiro termo da equação do CTVI e adicionar simplesmente a raiz quadrada dos valores absolutos para o NDVI e TVI, para se apresentar neste novo índice (TTVI).

$$TTVI = \sqrt{|NDVI + 0.5|}$$

Os Índices de Vegetação a seguir possuem o objetivo principal de cancelar o efeito do brilho do solo e o procedimento é baseado no conceito da linha do solo. Uma linha de solo é uma equação linear que descreve o relacionamento entre valores de refletância na banda vermelha e infravermelha para pixels de solo exposto. Essa linha é produzida realizando-se uma regressão linear simples entre as duas bandas, em uma amostra de pixels de solo exposto. Uma vez conhecido o relacionamento, todos os pixels desconhecidos em uma imagem que possuem a mesma relação nos valores de refletância no vermelho e infravermelho são assumidos como solo exposto.

Pixels desconhecidos que se distanciam da linha de solo por possuírem valores de reflectância maiores na banda infravermelha são assumidos como vegetação. Aqueles pixels que se distanciam da linha de solo porque suas reflectâncias na banda vermelha são altas são frequentemente assumidos como água.

- NRVI (*Normalized Ratio Vegetation Index*): é uma modificação do RVI por meio do resultado para RVI -1 normalizado com RVI +1. Essa normalização é similar ao efeito do NDVI, pois reduz efeitos de iluminação topográfica, efeitos atmosféricos e cria uma distribuição normal estatisticamente desejável.
- PVI (*Perpendicular Vegetation Index*): utiliza a distância perpendicular para cada coordenada de pixel para a linha de solo. Para derivar essa distância perpendicular, quatro passos são necessários:
 1. Determinar a equação da linha do solo pela regressão da refletância dos valores do solo exposto, valores para o vermelho (variável dependente) versus infravermelho próximo (variável independente). Esta equação apresenta-se na fórmula:

$$Rg5 = a_0 + a_1 Rg7$$

2. Determinar a equação da linha perpendicular pela fórmula:

$$Rp5 = b_0 + b_1 Rp7$$

Em que: **b₀** e **b₁**, são derivados como segue:

$$b_0 = Rp5 - b_1 Rp7$$

Em que: **Rp5** = reflectância no vermelho e **Rp7** = reflectância no infravermelho

$$b_1 = -1/a_1$$

Em que: **a₁** é a rampa da linha do solo.

3. Encontrar a intersecção das duas linhas (**Rgg5** e **Rgg7**):

$$\begin{aligned} Rgg5 &= b_1 a_0 - b_0 a_1 / b_1 - a_1 \\ Rgg7 &= a_0 - b_0 / b_1 - a_1 \end{aligned}$$

4. Encontrar a distância entre a intersecção (**Rgg5**, **Rgg7**) e a coordenada do pixel (**Rp5**, **Rp7**), utilizando, para isso, a Teorema de Pitágoras:

$$\sqrt{([Rgg5 - Rp5])^2 + (Rgg7 - Rp7)^2}$$

Tentativas para melhorar o desempenho do PVI podem ser encontradas em outras sugestões de PVI como as seguintes:

$$PVI_1 = \frac{(bNIR - RED + a)}{\sqrt{b^2 + 1}}$$

$$PVI_2 = \frac{NIR - a * RED + b}{\sqrt{1 + a^2}}$$

$$PVI_3 = aNIR - bRED$$

Em que: **a** = intersecção da linha do solo
b = inclinação da linha de solo

- DVI (*Difference Vegetation Index*): sugerido por Richardson e Wiegand (1977) citados por ROSENDO (2005) como um índice mais fácil para cálculo do algoritmo:

$$DVI = \gamma NIR - RED$$

Onde: γ = inclinação da linha de solo.

Similar ao PVI_1 , os valores DVI iguais a zero representam solo exposto, valores menores que zero, indicando água e valores maiores que zero indicando vegetação.

- AVI (*Ashburn vegetation index*): apresentada como uma medida de crescimento vegetativo.

$$AVI = 2.0MSS7 - MSS5$$

- SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*): proposto por Huete (1988) citado por ROSENDO (2005) possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L no denominador da equação NDVI (Figura 3).

O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar.

Para vegetação muito baixa, é sugerido utilizar o fator **L = 1,0**, para vegetação intermediária **L = 0,5**, para altas densidades **L = 0,25**. A utilização do **L = 0** os valores do SAVI serão idênticos ao NDVI, e para o L = 100 os valores do SAVI serão aproximados ao do PVI.

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L)$$

L = variável de ajuste do solo

- TSAVI (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*): apresenta um pouco de resistência para umidade em terras altas não apresentando bom desempenho em áreas de vegetação densa, o $TSAVI_1$ é um bom índice para utilização em regiões semi-áridas.

$$TSAVI_1 = \frac{a(NIR - a * RED - b)}{RED + a * NIR - a * b}$$

Em que: **a** = inclinação linha do solo
b = intersecção da linha do solo

Modificado uma segunda vez, o TSAVI apresentou a adição do fator 0.08 para minimizar os efeitos do brilho de fundo do solo. Essa segunda versão é descrita:

$$TSAVI_2 = \frac{a(NIR - RED)}{RED + aNIR - ab + 0.8(1 + a^2)}$$

- MSAVI (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*): propõe duas modificações no SAVI, baseadas na modificação do fator L . Ambos pretendem uma melhor correção do brilho do solo de fundo em diferentes condições de cobertura vegetal. No MSAVI₁, o fator L é selecionado como uma função empírica devido ao fato de que o L decresce com a diminuição da cobertura vegetal, como é o caso em terras semi-áridas. O MSAVI₁ pode cancelar ou minimizar o efeito do brilho do solo.

$$MSAVI_1 = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L)(1 + L)}$$

$$L = 1 - 2\gamma N \quad NDVI * WDV I$$

Em que: **NDVI** = *Normalized Difference Vegetation Index*;

WDVI = *Weighted Difference Vegetation Index* NIR-y RED;

γ = inclinação da linha do solo de fundo;

2 = utilizado para aumentar o intervalo dinâmico do L (0 a 1).

A segunda modificação do SAVI o MSAVI₂ utiliza um fator L indutivo para:

- ✓ Remover o “ruído” do solo que não foi cancelado pelo produto NDVI e WDV I.
- ✓ Valores maiores que 1 no MSAVI₁ podem ser devido ao valor negativo do NDVI e WDV I. Dessa forma há limitação em sua utilização para áreas com alta densidade de vegetação.

$$MSAVI_2 = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$$

- WDV I (*Weighted Difference Vegetation Index*): embora simples, é muito eficiente como a maioria dos índices de vegetação. O efeito do peso na banda do vermelho, com a inclinação da linha do solo, é a maximização do sinal da vegetação no vermelho e no infravermelho próximo e a minimização do efeito do brilho do solo.

$$WDVI = NIR - \gamma RED$$

Em que: γ = inclinação da linha do solo.

Alguns Índices de vegetação foram especificamente criados para correção dos efeitos atmosféricos, são eles:

- ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*): neste índice, os efeitos atmosféricos do espalhamento atmosférico por aerossóis, principalmente evidenciados no vermelho, podem ser corrigidos, pixel a pixel, por intermédio da diferença entre as reflectâncias azul e vermelho.
- EVI (*Enhanced Vegetation Index*): desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação em regiões de alta biomassa, além de apresentar melhor capacidade de monitoramento através de uma quebra do sinal do substrato do dossel vegetal e de redução das influências atmosféricas.

$$EVI = G \frac{\rho NIR - \rho_{red}}{(\rho NIR + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L)(1 + L)}$$

Onde: ρ são as reflectâncias da superfície corrigidas ou parcialmente corrigidas para efeitos atmosféricos;

L é o fator de ajuste para o substrato; e $C1$ e $C2$ são os coeficientes para correção de aerossóis (fumaça, partículas de poluição do ar, poeira), o quais utilizam a banda azul para corrigir a influência dos aerossóis na banda do vermelho.

- GVI (Green Vegetation Index): de Tasseled Cap é o segundo das quatro novas bandas que Kauth e Thomas (1976) citados por LAUTENSCHLAGER e PERRY (1981) extraíram de imagens MSS originais, determina coeficiente globais que são usados para medir os dados digitais originais do MSS para gerar a nova banda transformada.

$$GVI=[(-0.386MSS4)+(-0.562MSS5)+(0.600MSS6)+(0.491)MSS7]$$

$$MGVI=[(-0.2848TM1)+(-0.2435TM2)+(-0.5436TM3)+(0.7243TM4)+(0.0840TM5)+(-0.1800TM7)]$$

- MGVI (Misra's Green Vegetation Index): é equivalente de Tasseled Cap GVI e proposto por Wheeler et al. (1976) e Misra et al (1977) citados por LAUTENSCHLAGER e PERRY (1981) como um índice de vegetação espectral, segundo das quatro bandas produzidas a partir de aplicações dos Análises dos Componentes Principais de dados digitais do MSS.

$$MGVI=-0.386MSS4-0.530MSS5+0.532MSS7$$

- Verstraete e Pinty (1996) empenharam-se na derivação de um índice de vegetação que levasse em consideração os efeitos de perturbação do solo e da absorção e espalhamento atmosféricos com base na reflectância do vermelho e infravermelho próximo do AVHRR, desenvolvendo o índice GEMI (*Global Environment Monitoring Index*), não linear. Este índice foi proposto como uma alternativa ao NDVI em aplicações globais.

$$GEMI = \frac{\eta(1 - 0,25\eta) - (R - 0,125)}{(1 - R)}$$

$$\eta = \frac{[2(NIR^2 - R^2) + 1,5NIR + 0,5R]}{(NIR + R + 0,5)}$$

Embora o objetivo do GEMI seja avaliar globalmente os ambientes sem ser afetado pela atmosfera, ele é afetado pelo brilho e cor do solo. Conseqüentemente não se adapta a regiões onde haja cobertura vegetal esparsa ou moderadamente densa (QI et al., 1994).

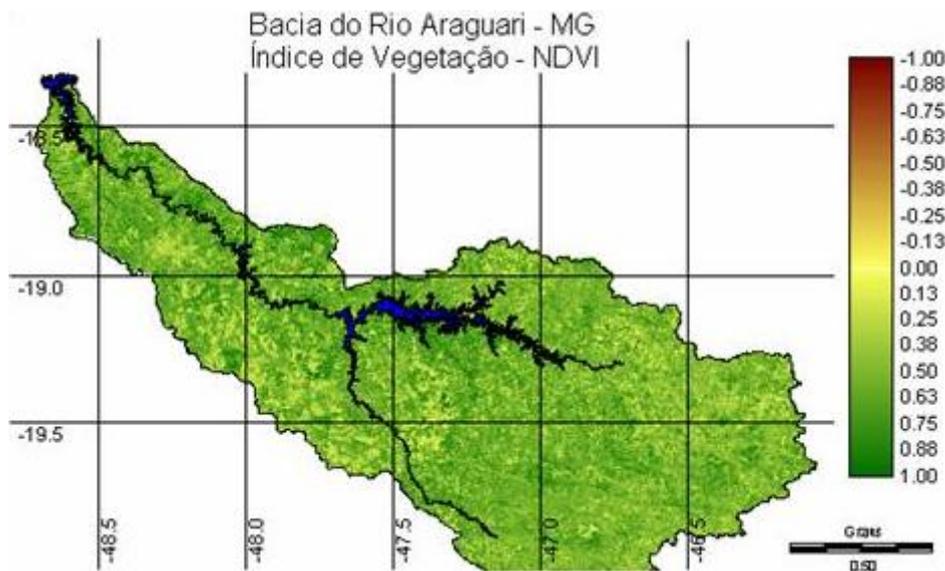
Assim, cada índice interage com determinado aspecto que se deseja captar da imagem espacial por meio das equações, relacionando-se com o tipo de cobertura vegetal, tipo de ocupação, presença de umidade, interferências espaciais, reflectâncias e absorvâncias, entre outros.

Figura 3. Índice de Vegetação SAVI

Aplicações e utilizações

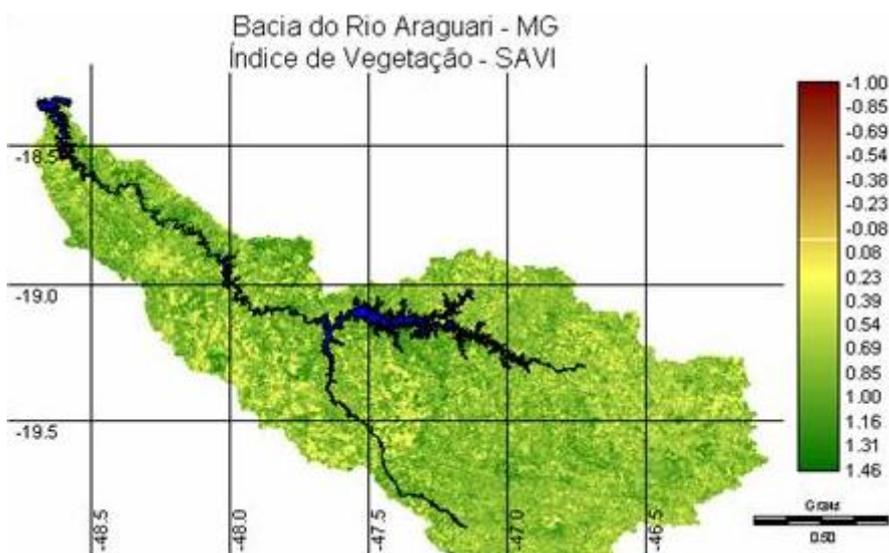
Os índices de vegetação são utilizados para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas (Figura 4), caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos. Podem apresentar resultados incorretos devido a:

- ✓ Bandas que apresentam ruídos, pois estes serão realçados.
- ✓ Presença do espalhamento atmosférico, seletivo em relação às bandas espectrais, gerando valores de nível de cinza que não representam a diferença de reflectância entre os alvos.
- ✓ Presença de objetos distintos nas bandas originais com características espectrais semelhantes, porém de diferentes intensidades. Na imagem resultante, estes objetos não serão distintos.



Fonte: ROSENDO (2005)

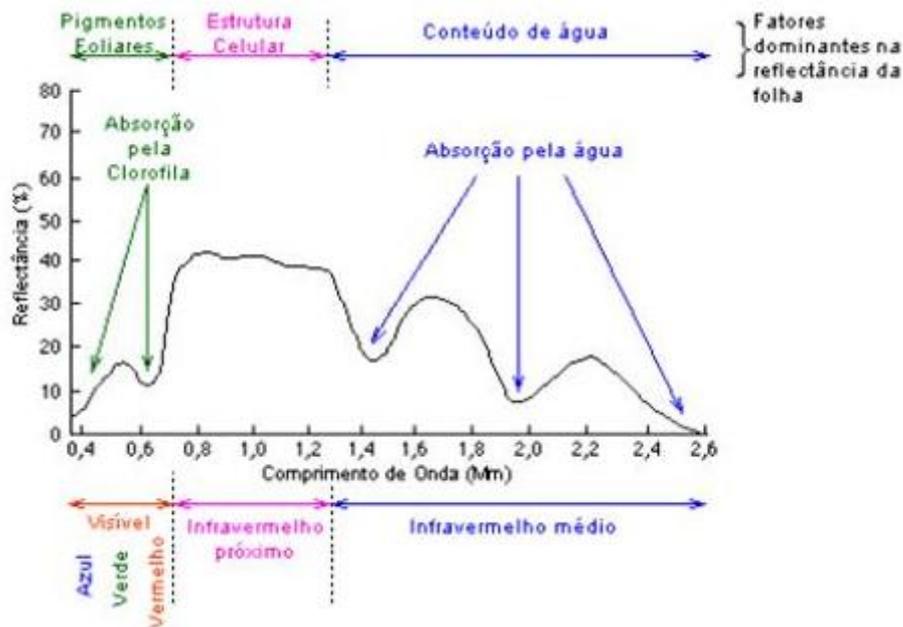
Figura 2. Índice de Vegetação NDVI



Fonte: ROSENDO (2005)

Seguem-se alguns exemplos de aplicação:

- ✓ Remover efeitos de ganho provenientes de variações espaciais ou temporais, quando ocorrem em bandas de uma mesma imagem;
- ✓ Diminuir variações de radiância da imagem, provenientes de efeito de topografia, declividade e aspecto;
- ✓ Aumentar diferenças de radiância entre solo e vegetação;
- ✓ Para aumentar o contraste entre solo e vegetação, utilizando a razão entre as bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo, gerando os índices de vegetação com suas respectivas equações.



Fonte: <http://www.ucalgary.ca/UofC/faculties/SS/GEOG/Virtual/Remote%20Sensing/rsveg.htm>

Figura 4. Assinatura espectral de uma folha sadia.

De acordo com a sensibilidade em relação às variáveis da vegetação, os índices de vegetação podem realçar a variação espacial da biomassa existente.

Segundo Ji e Peters (2007), uma função estatística pode medir mais eficientemente a sensibilidade de alguns índices de vegetação; eles observaram que alguns índices são mais sensíveis que outros, notaram que os índices de vegetação NDVI e RVI/RATIO (Índice de Vegetação da Razão de bandas) foram mais sensíveis que os índices GNDVI (Verde NDVI) e WDRVI (Índice de Vegetação Dinâmico).

O NDVI pode ser considerado por Rosendo e Rosa (2005) um dos índices mais utilizados em monitoramentos e levantamentos de vegetações, este mesmo autor utilizou o índice SAVI em áreas de Cerrado, por este apresentar uma constante capaz de minimizar as influências do solo de fundo.

Em seu estudo de análise temporal de IV, Pontes et al (2005) cita Jackson et al.(1986) que considera o NDVI como um bom estimador de biomassa sendo muito utilizado para avaliar produtividade de culturas, cita também Sims e Gamon (2003) que afirmam que o NDVI possui uma boa correlação com o teor de umidade da planta e termina com Barnes et al (1996) que aplica tal índice em Agricultura de Precisão para o acompanhamento de culturas.

Em seu estudo Freitas (2003) concluiu que o índice MVI_7 obteve melhor desempenho na caracterização de diferentes tipos de floresta, considerando os fragmentos florestais como capoeira, de forma similar às aerofotos; já o MVI_5 subestimou as classes de tipos de vegetação, considerando os fragmentos florestais como áreas de transição, enquanto que o NDVI superestimou essas classes, considerando os fragmentos como floresta, diferente do observado nas fotografias aéreas.

Há Índices de Vegetação (IV) que possuem o objetivo principal de cancelar o efeito do brilho do solo nos casos em que a vegetação é esparsa onde os pixels contêm uma mistura de vegetação verde e solo de fundo. Essa é uma importância particular dos IV nos estudos em ambientes áridos e semi-áridos, os índices utilizados para este fim são: NRVI (*Normalized Ratio Vegetation Index*); PVI (*Perpendicular Vegetation Index*); DVI (*Difference Vegetation Index*); SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*); TSAVI (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*); MSAVI (*Modified Soil Adjusted Vegetation Index*); WDV (*Weighted Difference Vegetation Index*).

Alguns índices foram criados para correção de efeitos atmosféricos como: ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*); EVI (*Enhanced Vegetation Index*), nestes índices os efeitos atmosféricos como de aerossóis (fumaça, partículas de poluição do ar, poeira), principalmente evidenciados no vermelho, podem ser corrigidos, através de uso de outras bandas e fatores de correção.

O ARVI tem apresentado bons resultados nos estudos de vegetação, mostrando-se quatro vezes mais sensível à atmosfera que o NDVI, sendo mais indicado aos estudos envolvendo áreas predominantemente ocupadas pela vegetação. Os índices de vegetação NDVI e ARVI permitiram identificar áreas com maior adensamento de vegetação, diferenciando áreas cobertas por solo exposto, água, pasto e vegetação densa. Todavia, nesta última classe, não foi possível discriminar, satisfatoriamente, vegetações pioneiras ou em crescimento, das demais em estágio mais próximo da maturidade (BELTRAME, 2007).

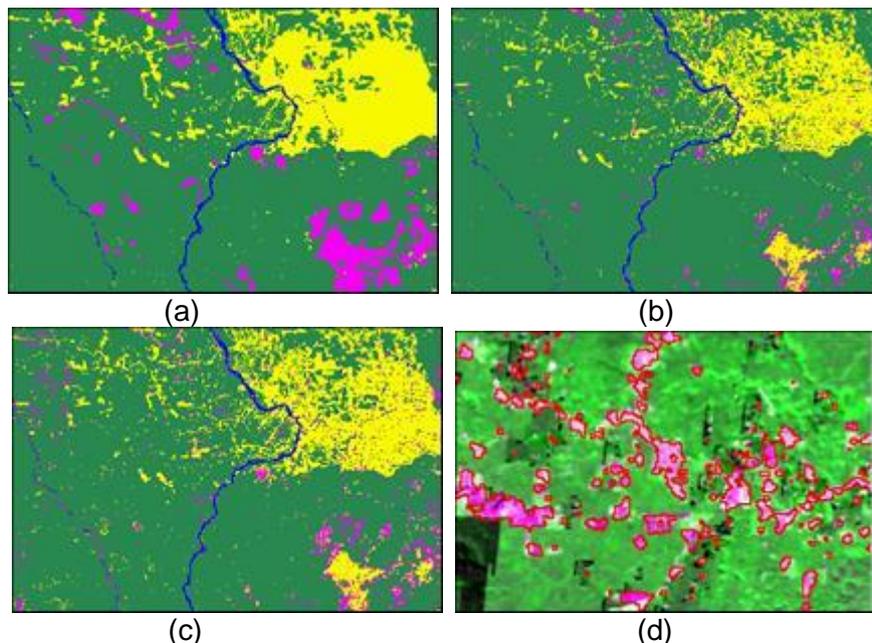
Uso dos índices de vegetação nos SIGS

Os índices de vegetação são usados através de diversos sistemas de informação geográfica; as imagens a serem observadas são obtidas de diversos tipos de satélites, que são direcionadas a um SIG e a partir daí são utilizados os índices para visualização da imagem de acordo com o índice adotado. Existem vários satélites para obtenção de imagens dentre eles tem-se: LANDSAT, IKONOS, SPOT, Satélites TERRA e AQUA (Sensor MODIS), CDD/CBERS, entre outros.

Para entrada com imagens em um SIG, as mesmas devem ser preparadas; há vários softwares como SPRING, IDRISI entre outros que permitem a aplicação dos índices de vegetação. Esses índices apresentam equações das quais são aplicadas nos softwares para visualização e realce da imagem conforme o objetivo do trabalho.

No IDRISI, através do uso de comandos como a Calculadora, insere-se várias equações de diferentes índices, os índices comumente usados neste programa são: RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI, TTVI (SLOPE-BASED VEGETATION INDEX); PVI, DVI, AVI, SAVI, TSAV1 e TSAV2, MSAV1 e MSAV2, WdVI (DISTANCE-BASED VEGETATION INDEX), GVI e MGVI (TRANSFORMATION VEGETATION INDEX).

No SPRING o uso dos índices é feito através de divisão e razão entre bandas é inserido o índice NDVI que realça a imagem.



Fonte: Correia (2007).

Figura 5. (a) Verdade terrestre (08/junho/2004), (b) classificação da composição 1, (c) classificação da composição 2 e (d) determinação das áreas de desmatamento em rosa (composição 2). Imagens feitas através da aplicação dos índices NDVI, EVI e NDRG em um SIG.

No estudo de Correia (2005), os índices (EVI e NDVI), obtidos a partir de oito dias de dados MODIS (250 m, 500m, superfície reflectância) foram avaliados para a detecção e acompanhamento áreas desmatamento na Amazônia (Figura 5). A qualidade radiométrica dos dados do sensor MODIS foram avaliados para verificar a possibilidade de utilizar o índice limiar de vegetação desmatamento gerar mapas. A precisão interna da composição MODIS foi avaliado e o erro geodésico foi inferior a 1 pixel (<250 m). Isto permite suprimir o georreferenciamento passo a passo antes de introduzir dados do sensor MODIS em um Sistema de Informação Geográfica para o estudo do desmatamento. A potencialidade dos dados MODIS reflectância de superfície foi avaliada duas datas na Terra do Meio, região do Estado do Pará. Exatidões globais superiores a 87% foram obtidas, demonstrando uma boa potencialidade para a utilização desses produtos na detecção do desmatamento em tempo quase real.

Na figura 5(a) observam-se regiões mais concentradas como a amarela (desmatamento) e a rosa (não florestada – provavelmente solo nu); e a área verde, sendo floresta, como imagem real do local de estudo em determinada data. As figuras 5(b) e 5 (c) representam as classificações das composições de imagens, resultando na determinação das áreas de desmatamento em rosa pela recomposição final da imagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo sobre índices de vegetação observou-se a importância dos conceitos e equações dos mais variados índices propostos que serão aplicados em um sistema de informação geográfica. Um dos índices mais utilizados nas pesquisas é o NDVI.

Muitos destes índices são mais adequados para determinadas situações globais, ou seja, alguns índices são mais indicados para estudos com vegetação densa, outros são direcionados para regiões com vegetação esparsa. nos estudos em ambientes áridos e semi-áridos, os índices recomendados são: NRVI (*Normalized Ratio Vegetation Index*); PVI (*Perpendicular Vegetation Index*); DVI (*Difference Vegetation Index*); SAVI (*Soil Ajusted Vegetation Index*); TSAVI (*Transformed Soil Ajusted Vegetation Index*); MSAVI (*Modified Soil Ajusted Vegetation Index*); WDVI (*Weighted Difference Vegetation Index*). Alguns índices foram criados para correção de efeitos atmosféricos como: ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*); EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

Há também, os IVs utilizados para estudos de monitoramento e desmatamento ambientais como o GEMI (*Global Environment Monitoring Index*), que pode ser considerado alternativa ao NDVI em aplicações globais. Em muitos estudos utilizaram-se os índices NDVI e EVI para detectar desmatamentos concluindo que estes índices tem boa potencialidade para detecção de monitoramentos ambientais.

São importantes os estudos de comparação entre os índices, pois procuram definir qual é o melhor índice para determinada região ou situação global.

No Brasil devido à importância da cultura da cana-de-açúcar, esses índices são muito utilizados para determinar, no início do período da safra, o mapeamento da variação espacial da biomassa, e com isso é possível ter uma estimativa da produção. Os índices que mais correlacionaram para estes estudos foram GVI e GNDVI.

Portanto, esses índices de vegetação associados aos sistemas de informação geográficas, auxiliam e agilizam em monitoramentos ambientais, evitando muitas vezes o processo de desmatamento, facilitam pesquisas sobre as mais diversas culturas, além de outros estudos.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, K. M. do N. Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, **Tese de Doutorado**, 131 p., 2006.

BELTRAME, A. M. K.; JARDINI, M. G. M.; JACOBSEN, R. M.; QUINTANILHA, J. A.; Análise da vegetação em faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**

Florianópolis: INPE, 2007. p. 5579 – 5586.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. Utilização de dados reflectância modis (composições de 8 dias) para detecção de desmatamentos na amazônia elétrica In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2005. p. 481 - 488.

DEERING, D. W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. College Station, Texas A&M University. **Dissertation (Ph. D)**, 338 p., 1978.

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows. Manual do usuário. Trad. HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 245 p., 1998.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FREITAS, S. R.; CRUZ, C. B. M. Índices de Vegetação na caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no Estado do RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2737 - 2744.

JI, L.; PETERS, A. J. **Performance evaluation of spectral Vegetation Indices using a statistical sensitivity function. Remote Sensing of Environment**, v.106, p. 59-65, 2007.

LAUTENSCHLAGER, L. F. ; PERRY, C. R. Comparison of vegetation indices based on satellite-acquired spectral data. **American Statistical Association**, 1981, p. 77 – 82. Disponível em:< www.amstat.org/sections/srms/proceedings/papers/1981_017.pdf> Acesso em: 25 mar. 2009.

MACHADO, H.; LAMPARELLI, R. A. C. Desenvolvimento metodológico para amostragem em cana-de-açúcar, considerando a resposta espectral da biomassa em imagens orbitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 59/02, 2007, p. 114 – 126. Disponível em:< http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_59_2007/59_02_1.pdf> Acesso em: 25 mar. 2009.

MOREIRA, M. A.; **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 304 p., 2003.

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

PONTES, P. P. B.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise temporal de índices de vegetação como subsidio à previsão de safras de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 217-244.

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação.** In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

QI, J., CHEHBOUNI, A., HUETE, A. R., KERR, Y., SOROOSHIAN, S., 1994, “A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI), **Remote Sensing of Environment**, v. 48, pp. 119-126.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Uberlândia: EDUFU, 5ª Ed. 238 p., 2003.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3285-3292.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de Vegetação e monitoramento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Araguari - Mg - utilizando dados do Sensor Modis.** Dissertação de Mestrado, Defendida pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. 131 p., 2005.

SPRING. **Tutorial do Spring.** Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/operacao.html>> Acesso em 25 mar. 2009.