
DETERMINAÇÃO DE VALORES FÍSICOS DE IMAGENS TM/LANDSAT- 5 UTILIZANDO A LINGUAGEM LEGAL PARA OBTER ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

ROMILDO TOSCANO DE BRITO NETO
MARCELLO BENIGNO BORGES BARROS FILHO
HELIO LEANDRO LOPES
ADMILSON DA PENHA PACHECO

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba – CEFET - PB
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
{romildoneto, benigno.marcello}@gmail.com
helio.lopes@univasf.edu.br
admilpp@ufpe.br

RESUMO – A determinação de valores físicos de imagens é um parâmetro essencial para se obter Índices de Vegetação. Eles podem ser obtidos através da transformação dos números digitais, normalmente encontrados em imagens de satélite. Este artigo demonstra toda a rotina de cálculo que converte os dados brutos (números digitais) em valores físicos (radiância e reflectância), além de implantá-lo utilizando a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), que possibilita a determinação, manipulação e análise desses dados através do SPRING. A partir das reflectâncias calculadas foi gerado o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) como exemplo de uma aplicação para os valores determinados. Também foi gerado o NDVI a partir dos dados brutos, a fim de se comparar os resultados alcançados pelos dois métodos e constatar que os obtidos a partir das reflectâncias são mais confiáveis. Dessa forma, espera-se salientar a importância da conversão de valores brutos em valores físicos antes da determinação dos Índices de Vegetação e estimular a utilização do SPRING para esses fins.

ABSTRACT - The determination of physical images values is a essential parameter to obtain vegetation indexes. They can be obtained through the digital numbers' conversion they're usually found in satellite imagery. This paper shows the whole routine of calculation that converts the raw data (digital numbers) in physical values (radiance and reflectance), and besides that deploy it to make use of the LEGAL language (*Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico*), that enables the determination, manipulation and analysis of such data by SPRING software. Based on the calculated reflectance was generated the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) as an example of an application to determined values. As well the NDVI was calculated from the raw data reached by both methods was concluded that the reflectance ones are more trustable.. Thus, it is expected to show the importance of raw values' conversion in physical values before the determination of vegetation indexes and stimulating the SPRING using for these aims.

1 INTRODUÇÃO

Estudos têm demonstrado que dados de sensores remotos podem ser utilizados para o mapeamento de fisionomias vegetais. A agricultura, gerências de recursos florestais e, até mesmo, gerências de recursos hídricos demonstram um crescente interesse em desenvolver métodos capazes de avaliar a saúde de uma determinada vegetação, indicar áreas onde se pratica a irrigação de parcelas agrícolas entre outras aplicabilidades. Para assim melhorar, por exemplo, a produtividade de uma plantação ou o controle de áreas de proteção ambiental.

Os índices de vegetação ressaltam diferenças existentes entre o solo e a vegetação, além de sintetizar informações de duas bandas espectrais em apenas uma. O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um indicador sensível da quantidade e das condições da vegetação. Para sua determinação é necessário converter os valores brutos de imagens de satélite em valores físicos.

Diversos *softwares* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) são capazes de atender esse interesse, a exemplo do SPRING. Por meio deles é possível

manipular os dados das imagens coletadas através de técnicas de tratamento digital de imagens e de geoprocessamento algébrico, de acordo com o escopo de cada pesquisa.

O objetivo deste trabalho é demonstrar uma metodologia para a conversão dos valores brutos de imagens em valores físicos, salientando a importância deste passo antes de gerar o NDVI, como também converter os Números Digitais (ND) de imagens TM/Landsat – 5 em radiância e reflectância utilizando a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), pertencente ao programa SPRING. Por fim, gerar o NDVI a partir da reflectância calculada, compará-lo com o NDVI gerado a partir de dados brutos e assim, possibilitar a execução de outros trabalhos que visem obter esse índice de vegetação utilizando o SPRING e os algoritmos criados em LEGAL.

2 CONVERSÃO DE VALORES DIGITAIS BRUTOS EM VALORES FÍSICOS REAIS

Os valores digitais brutos (números digitais) das imagens Landsat TM são comumente utilizados para classificar estatisticamente tipos de cobertura, criar mosaicos digitais de várias imagens e detectar mudanças em imagens sucessivas de uma mesma área. Os ND são usados apenas por conveniência no processamento dos dados, pois eles não representam quantitativamente valores físicos reais (reflectância, radiância) (PEREIRA et al., 1996).

O Número Digital (ND) pode ser definido como a intensidade do pixel e sua amplitude muda de acordo com a resolução radiométrica do sensor. Os níveis digitais são relacionados com a intensidade da energia radiante refletida através de um modelo linear (calibração). Contudo, não são diretamente comparáveis entre satélites diferentes devido às diferenças na calibração dos sensores (ROBINOVE, 1982; BRANDÃO et al., 2005).

Os valores físicos comumente derivados dos números digitais são: a radiância e a reflectância. As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medidas pelo satélite (BASTIAANSEN et al., 2000).

Por outro lado a reflectância é que possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente às mudanças nas propriedades estruturais/espectrais da cobertura e não às mudanças no ângulo de iluminação solar ou variações dos sensores (degradação) (PEREIRA et al., 1996).

De acordo com Moreira (2000), empregam-se mais comumente valores de reflectância, devido às dificuldades em interpretar e obter os resultados das medidas calibradas com valores de voltagem de saída, número digital e radiância.

A reflectância é o passo inicial para a determinação de outros índices, a exemplo do NDVI, SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) e o LAI (*Leaf Area Index*). O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condições da vegetação. Já o SAVI é similar ao NDVI, nele são incluídas constantes no numerador e denominador da fórmula do NDVI com a intenção de minimizar as influências do brilho do solo e gerar isolinhas de vegetação mais independentes das características do solo. O LAI (índice de área foliar) é um indicador da biomassa (BRANDÃO et al., 2007; MOREIRA, 2000).

A partir da reflectância também pode ser determinado o albedo de superfície. O conhecimento do albedo é necessário para a determinação do saldo de radiação, que por sua vez exerce um papel fundamental nos processos de troca de calor e massa na baixa troposfera, uma vez que se constitui no principal responsável pelo aquecimento do solo, do ar e, principalmente, pela evapotranspiração da vegetação nativa e das culturas. Assim, o albedo torna-se muito importante em estudos de mudanças climáticas, desertificação, queimadas e meio ambiente em geral (SILVA et al., 2005).

Diante dos pressupostos, pode-se perceber a importância e a utilidade de se determinar os valores de reflectância de imagens de satélite. Na prática, os valores de reflectância podem ser entendidos como a base para executar inúmeras aplicações do sensoriamento remoto.

3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Estudos têm demonstrado a utilidade do uso de índices ópticos, obtidos através de ferramentas de sensoriamento remoto, na avaliação das características biofísicas da vegetação (BRANDÃO et al., 2005). Os índices de vegetação (IV) relacionam as características da vegetação com seus vários parâmetros biofísicos, ou seja, possibilitam estimar parâmetros como o índice de área foliar (IAF), biomassa vegetal, produtividade e atividade fotossintética (HUETE, 1988).

O NDVI surgiu com o trabalho de Rouse et al. (1973), que encontrou uma relação entre medidas espectrais de duas bandas que melhor resolvia o problema das interferências do solo na resposta da vegetação, a influência da atmosfera e das variações sazonais do ângulo zenital do solar. Para isso, faz-se necessário converter os valores dos números digitais em reflectância.

Os IV podem ser definidos como a combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais, selecionadas com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros da vegetação. Para isso, podem ser utilizados os valores de dados espectrais de: voltagem de saída do sensor, radiância, número digital e reflectância (MOREIRA, 2000).

O NDVI é utilizado para identificar a presença de vegetação verde na superfície, permitindo caracterizar sua distribuição espacial e a evolução do seu estado ao longo do tempo, que é determinada a partir das variações

das condições climáticas dominantes e analisada a partir de imagens temporais (FOLHES, 2005).

Através de uma relação logarítmica com o NDVI, pode ser determinada a emissividade de superfície, segundo o método de Van de Griend e Owe (1993). Através da correção dos efeitos da emissividade de superfície, a reflectância na banda termal pode ser transformada em valores instantâneos de temperatura da superfície (FOLHES, 2005). Isso reforça a necessidade de se obter valores de reflectância e o NDVI.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Obtenção de Imagens Landsat

As imagens foram obtidas junto ao INPE (Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais) através do endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>, onde se podem baixar as cenas gratuitamente e de acordo com: o percentual de recobrimento de nuvens, a localização e a data de captura da imagem.

Foi utilizada uma imagem TM/LANDSAT - 5, obtida às 12h de 23 de julho de 2006 (Dia Juliano = 204), na órbita 216 e ponto 65, que compreende a mesorregião do Sertão Paraibano e pertence ao fuso UTM 24, nesta área encontram-se os seguintes municípios do estado da Paraíba: Piancó, Coremas, Itaporanga, Sousa, Cajazeiras etc. O par de coordenadas que forma o retângulo envolvente da área imageada é: 457940 E, 9099250 N e 692240 E, 9301420 N.

A razão para sua escolha foi o pequeno percentual de recobrimento de nuvens. Esta cena foi utilizada apenas para demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta neste artigo e não para fins interpretativos.

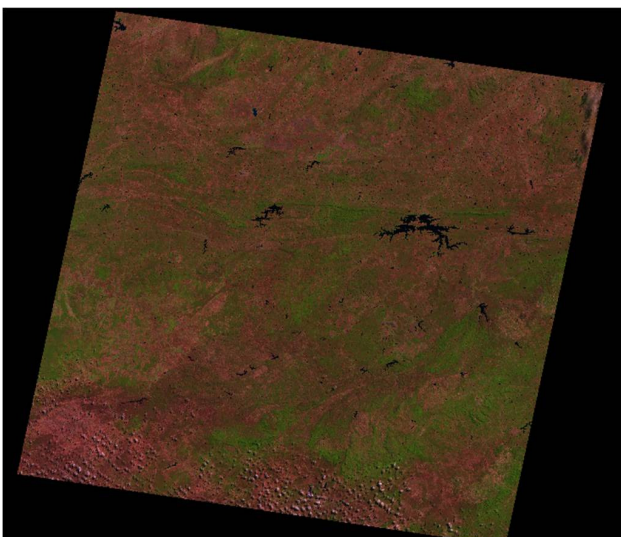


Figura 01 – Imagem TM/Landsat-5 órbita 216 e ponto 65 obtida em 23 de julho de 2006 composição 5R4G3B

De acordo com Ponzoni et al. (2005), os satélites Landsat possuem uma freqüente atualização de seus dados de calibração bem como a preocupação em sua

divulgação, isso permite que os usuários estabeleçam correlações entre os parâmetros radiométricos determinados mediante a aplicação desses dados de calibração. Por isso a escolha desse satélite para esta finalidade.

4.2 Levantamento das equações para a conversão

Abaixo é descrita a fórmula para a conversão do número digital (ND) em radiância monocromática, de acordo com Markham e Barker (1987a):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{máx} - L_{mín}}{DN_{máx} - DN_{mín}} \right) x (DN - DN_{mín}) + L_{mín}$$

Onde:

DN → Número digital de cada pixel

$L_{máx}$ e $L_{mín}$ → São constantes de calibração de um determinado sensor

$DN_{máx}$ e $DN_{mín}$ → São os valores máx. e mín. que o ND pode alcançar

L_{λ} → Radiância espectral monocromática (W/m².sr.µm)

Para o TM/Landsat-5 temos o $DN_{mín} = 0$ e o $DN_{máx} = 255$, já que sua resolução radiométrica é de oito bits. Portanto a radiância pode ser calculada pela seguinte equação:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{máx} - L_{mín}}{DN_{máx}} \right) x (DN) + L_{mín} \quad (1)$$

Já a reflectância monocromática pode ser encontrada usando-se:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde:

d_r → Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas

z → Ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição

E_{λ} → Irradiância solar média no topo da atmosfera (mW/cm².Ω.µm)

L_{λ} → Radiância espectral monocromática (W/m².sr.µm)

$\rho_\lambda \rightarrow$ Reflectância monocromática

Fazendo (1) em (2) é obtida uma fórmula para conversão direta de ND em reflectância:

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot \left[\left(\frac{L_{máx} - L_{mín}}{DN_{máx}} \right) x(DN) + L_{mín} \right]}{E_\lambda \cdot \cos(z) \cdot d_r}$$

Após a determinação dos valores físicos das imagens Landsat deve-se proceder com o cálculo do NDVI proposto por Rouse et al. (1973). Onde os valores obtidos com o cálculo do NDVI são contidos numa escala de valores entre -1 e 1. Para esse índice, adota-se a seguinte expressão:

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \right)$$

Onde:

$\rho_{IVP} \rightarrow$ Valor da reflectância na faixa do Infravermelho próximo

$\rho_V \rightarrow$ Valor da reflectância na faixa do Vermelha do visível

4.3 Levantamento dos dados para a conversão

Este tópico demonstra como foram obtidos os dados que serão aplicados na rotina de cálculo descrita anteriormente.

O ângulo zenital solar (z) (equação (2)) é determinado pela diferença entre o zênite e a elevação do Sol, dado extraído do cabeçalho da imagem. Para a cena utilizada tem-se: Elevação do Sol = 49.1824 (graus decimais). Assim o cosseno do ângulo zenital solar é determinado pela equação abaixo:

$$\cos(z) = \cos(90 - 49.1824) = 0.756794303$$

De acordo com a ferramenta de parametrização SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*), o termo d_r é definido como $1/d_{e-s}^2$ onde d_{e-s} é a distância relativa Terra-Sol em Unidades Astronômicas (BASTIAANSSEN et al., 2002). Allen et al. (1998) afirma que d_r é obtido a partir da seguinte fórmula:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(DJ \frac{2\pi}{365}\right)$$

Onde DJ representa o Dia Juliano (dia seqüencial do ano), assim, para a cena em estudo (coletada em 23 de julho) temos: DJ=204. Portanto $d_r = 0.969234456$.

A tabela 1 (abaixo) descreve dados das bandas 3 e 4 do Landsat 5 – TM, utilizadas no cálculo do NDVI. Os coeficientes de calibração ($L_{mín}$ e $L_{máx}$) foram extraídos de Chander et al. (2007). As irradiâncias espectrais no topo da atmosfera foram extraídas de Markham e Barker (1987b).

Tabela 1 – Descrição dos Coeficientes de Calibração e da irradiância espectral no topo da atmosfera.

Bandas	Coeficientes de Calibração		Irradiância Solar no Topo da Atmosfera
	Lmín	Lmáx	
3	-1,17	264	1554
4	1,51	221	1036

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2007) e Markham e Barker (1987b).

4.4 Linguagem LEGAL

Na busca de atender a uma demanda da área de Geoprocessamento para que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possam contar com ferramentas sofisticadas de modelagem, a equipe do INPE, engajada no desenvolvimento do SPRING, desenvolveu o projeto da linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), descrita em Câmara (1995).

A linguagem LEGAL teve sua implementação baseada na álgebra de campos proposta por Câmara (1995). Ela é constituída de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, ou seja, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto de alguma disciplina de Sistemas de Informação Geográfica. Este trabalho procurou empregar recursos da programação LEGAL, pertencente software SPRING, para determinar os valores de reflectância de cada pixel da imagem em estudo.

As sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos: Declarações, instanciações, operações e comandos.

Declarações são variáveis que serão associadas aos dados fornecidos ou produzidos no programa SPRING. Uma variável é composta de um Modelo, nome e categoria que caracterizam planos de informação, mapas cadastrais, objetos ou tabelas de transformação. Toda variável em LEGAL deve ser declarada antes de ser utilizada e obedecendo a seguinte sintaxe:

Modelo nome ("categoria");¹

¹ As sentenças em LEGAL serão escritas neste artigo com a fonte Courier New, no tamanho 9pts

Enquanto as declarações caracterizam planos de informação, mapas cadastrais, objetos ou tabelas de transformação, as instanciações são efetivamente associadas a esses elementos. A instanciação pode recuperar dados já existentes no banco de dados do SPRING, através do operador recupere, ou criar um novo dado representado em algum plano de informação ou mapa cadastral, por meio do operador novo. Abaixo temos um exemplo de instanciação que recupera dados e que cria novos dados, respectivamente:

```
B3 = Recupere (Nome="B3");
refl3 = Novo (Nome = "refl_B3", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max =
50);
```

Com as variáveis previamente declaradas e instanciadas são definidas as operações. Isto significa descrever com base em regras sintáticas as expressões que traduzem as operações que se deseja avaliar. Abaixo temos um exemplo de operação.

```
ndviND = Numerico ((B4-B3)/(B4+B3));
```

Os comandos de controle permitem o controle do fluxo de processamento de um programa. Eles são fundamentais para a modelagem de situações que envolvam a execução alternativa, condicional ou repetitiva. Esse tipo de sentença não será usado nesse trabalho.

5 RESULTADOS

O algoritmo abaixo descreve uma rotina, em linguagem LEGAL. A partir dele é possível converter os ND em reflectância de qualquer imagem TM/Landsat-5 utilizando o SPRING. Para isso, basta obter alguns dados para a conversão que são particularidades de cada imagem, por exemplo: Ângulo zenital solar e o Dia Juliano.

```
{
// Declaração de variáveis
Imagem B3 ("Landsat"), B4 ("Landsat");
Numerico refl3("Reflectancia"),
refl4("Reflectancia");
// Instanciação de variáveis reais
pi = 3.1415926;
cosz = 0.756794303;
d = 0.969234456;
lmin3 = -1.17;
lmax3 = 264;
lmin4 = -1.51;
lmax4 = 221;
e3 = 1554;
e4 = 1036;
ndmax = 255;
// Instanciação de variáveis
B3 = Recupere (Nome="B3");
```

```
B4 = Recupere (Nome="B4");
refl3 = Novo (Nome = "refl_B3", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max =
50);
refl4 = Novo (Nome = "refl_B4", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max =
50);
//Por fim as operações desejadas
// Conversão de ND para reflectância
refl3 = Numerico
((pi/(d*e3*cosz))*((B3/ndmax)*
(lmax3-
lmin3)+ lmin3));
refl4 = Numerico
((pi/(d*e4*cosz))*((B4/ndmax)*
(lmax4-
lmin4)+ lmin4));
}
```

O algoritmo a seguir descreve o cálculo do NDVI a partir das reflectâncias obtidas e com variáveis numéricas.

```
{
Numerico refl3("Reflectancia",
refl4("Reflectancia"), ndviREFL("grad");
refl3 = Recupere (Nome="refl_B3");
refl4 = Recupere (Nome="refl_B4");
ndviREFL = Novo (Nome = "ndviREFL", ResX =
30, ResY = 30, Escala = 100000, Min = -1,
Max = 1);
ndviREFL = ((refl4 -refl3)/(refl4 +refl3));
}
```

Seguindo essa metodologia foi obtido o NDVI a partir dos ND.

```
{
Imagem B3 ("Landsat"), B4 ("Landsat");
Numerico ndviND ("grad");
B3 = Recupere (Nome="B3");
B4 = Recupere (Nome="B4");
ndviND = Novo (Nome = "ndviND", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = -1, Max =
1);
ndviND = Numerico ((B4 -B3)/(B4 + B3));
}
```

Após a execução desses algoritmos, foi realizada no SPRING uma comparação entre os valores encontrados com o cálculo do NDVI a partir de dados brutos (Número Digital), com o processamento dos dados (correção atmosférica, conversão dos ND em radiância) até a espacialização da reflectância.

Foram realizadas análises de quatro tipos de alvos: área de agricultura, vegetação densa, solo exposto e água. Assim, poderia ser detectada tanto a diferença entre as respostas dos *pixels* de cada NDVI gerado, quanto os valores encontrados pelo NDVI para alvos distintos.

É sabido que os valores do NDVI gerado são valores reais contidos entre -1 e 1. Existem algumas interpretações superficiais a respeito de alguns alvos. Por

exemplo, a água é representada por valores negativos, alvos como solo exposto são representados por valores muito próximos de zero. Já para a vegetação, que é o maior objetivo do índice, quanto mais alto o valor do *pixel*, maior será a densidade da vegetação ou sua atividade fotossintética. (VERONA, 2003)

As figuras abaixo mostram a diferença visual entre as imagens geradas a partir das grades de NDVI calculadas. Os círculos nas figuras 02 e 03 a seguir indicam uma região onde foram analisados alguns valores dos *pixels* de uma área de agricultura.

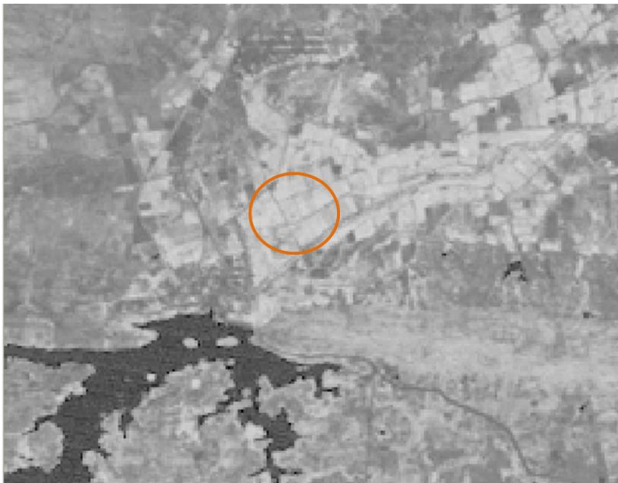


Figura 02 - Imagem do NDVI obtido a partir do ND

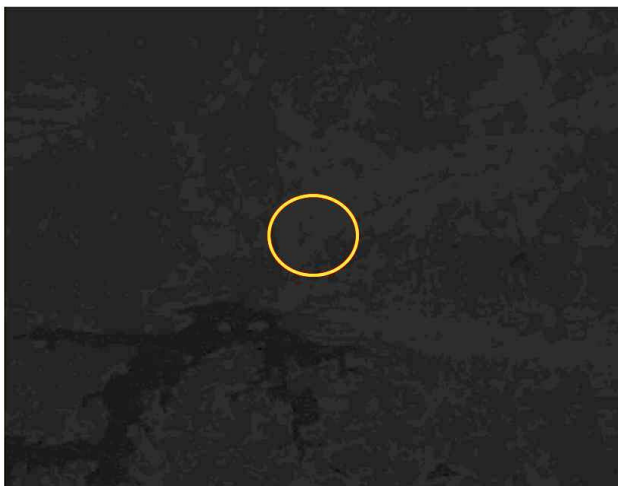


Figura 03 - Imagem do NDVI obtido a partir das reflectâncias

Na tabela 2 tem-se uma amostragem de alguns *pixels* contidos nos círculos das figuras 02 e 03 (acima), onde é possível verificar a diferença existente entre os valores de alguns *pixels* do NDVI gerados a partir dos ND e obtidos a partir das reflectâncias.

Tabela 2 – Valores de alguns *pixels* do NDVI gerados a partir dos ND e obtidos a partir das reflectâncias

Linha	Coluna	NDVI	
		ND	Reflectância
1854	3980	0.604167	0.682550
1849	3992	0.652174	0.722982
1858	3988	0.588785	0.667822
1847	3984	0.557522	0.639518

A figura 04 é representada pela composição 543 RGB da cena do TM/Landsat-5, utilizada neste estudo. O SPRING possibilita que sejam observados os valores dos *pixels* gerados pelo cálculo do NDVI sem a necessidade de visualização da imagem gerada. Assim, é possível extrair várias informações a partir de uma única imagem, a exemplo da figura abaixo.

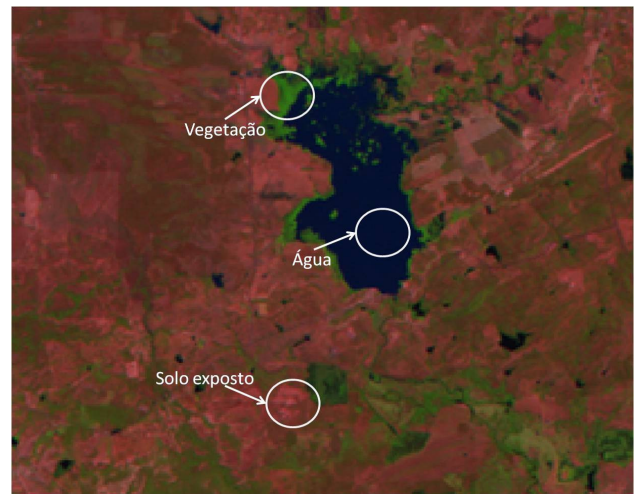


Figura 04 – Composição 543 TM/Landsat-5 indicando alvos a serem analisados.

A tabela 3 mostra diferença existente entre os valores de alguns *pixels* do NDVI gerados a partir dos ND e obtidos a partir das reflectâncias para uma área de possível vegetação densa ou alta atividade fotossintética. Pode-se observar o círculo que indica a área de vegetação onde foram coletadas as amostras, na figura 04.

Tabela 3 – Valores de alguns *pixels* do NDVI para uma área de vegetação densa ou alta atividade fotossintética.

Linha	Coluna	NDVI	
		ND	Reflectância
1253	3154	0.695652	0.759038
1257	3153	0.676471	0.742582
1251	3157	0.653543	0.723252
1259	3152	0.671429	0.737967

Os valores encontrados nessa amostragem foram maiores que os da área de agricultura, o que indica exatamente essa diferença entre os parâmetros biofísicos da vegetação.

A tabela 4 segue a mesma metodologia de comparação. Dessa vez para a água. Os valores

encontrados são todos negativos, o que é comum no NDVI para alvos como a água. A figura 04 indica a região onde foram coletadas as amostras pertencentes à tabela 4.

Tabela 4 - Valores de alguns pixels do NDVI para água.

Linha	Coluna	NDVI	
		ND	Reflectância
1310	3191	-0.516129	-0.466190
1315	3184	-0.492063	-0.437280
1306	3186	-0.508197	-0.457521
1319	3192	-0.516129	-0.466190

Por fim, foi analisada a resposta dos pixels para o solo exposto indicado na figura 04. A tabela 5 mostra os valores do NDVI gerados a partir dos ND e obtidos a partir das reflectâncias. Os valores encontrados são bem próximos de zero.

Tabela 5 - Valores de alguns pixels do NDVI para o solo exposto.

Linha	Coluna	NDVI	
		ND	Reflectância
1385	3151	-0.008130	0.101321
1389	3154	-0.020690	0.089424
1385	3157	-0.015385	0.094258
1388	3151	0.009524	0.118339

As figuras 05 e 06 representam a cena em estudo através dos fatiamentos das grades dos NDVI gerados. As cores foram atribuídas de acordo com os intervalos determinados no processo de fatiamento, onde cada ponto da grade possui o valor do NDVI gerado, ou seja, entre -1 e 1, e a cada valor que foi atribuída uma cor, formando então a imagem colorida. Observa-se a diferença existente através das figuras 05 e 06.

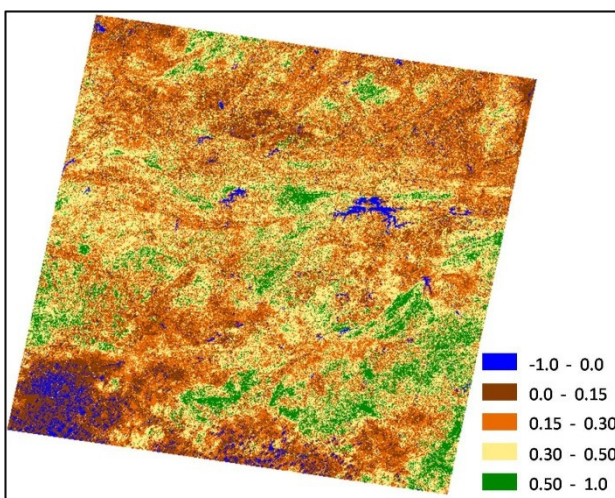


Figura 05 – Fatiamento da grade do NDVI gerado a partir dos ND.

Os valores em azul deveriam indicar alvos como a água. Porém, no canto inferior esquerdo da figura 05, os alvos indicados em azul não são água e sim solo exposto. É possível observar esse local na figura 06, onde é perceptível que o resultado do NDVI da reflectância é mais confiável.

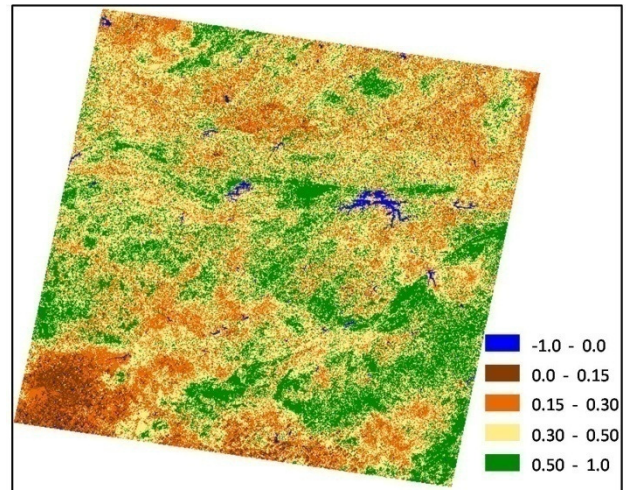


Figura 06 – Fatiamento da grade do NDVI gerado a partir dos valores de reflectância.

6 CONCLUSÕES

A utilização do SPRING para a determinação dos valores físicos de imagens TM/Landsat – 5 mostrou-se uma opção viável. A linguagem LEGAL atendeu as expectativas, uma vez que todos os cálculos foram efetuados utilizando seus recursos.

O NDVI, gerado a partir dos dados de reflectância calculados, permite que se possa trabalhar com imagens temporais e conseguir resultados mais consistentes devido às correções que são realizadas no processo de conversão de valores brutos para valores físicos.

Ao comparar as figuras 05 e 06 e as tabelas 3,4 e 5, conclui-se que os valores do NDVI gerados a partir das reflectâncias são um pouco maiores que os determinados pelos ND. Portanto uma análise de índice de vegetação a partir de dados brutos pode acarretar em erros, devido a essas diferenças.

Desta forma justifica-se a aplicação dos parâmetros de correção, devido às diferenças existentes nas duas imagens. Para constatar isso, faz-se necessário uma expedição à área de estudo, de forma a analisar os valores encontrados nos dois resultados da imagem do NDVI.

A freqüente diferença observada entre os valores de NDVI obtidos pelos dois métodos de cálculo pode ser justificada fisicamente. No momento em que se determinam as reflectâncias nas imagens são acopladas uma série de correções de acordo com alguns parâmetros como, por exemplo, a influência da irradiância solar no topo da atmosfera, a inclinação solar no momento da

aquisição, a radiância espectral monocromática e a distância Terra-Sol.

Além disso, ele pode proporcionar a comparação entre índices de vegetação gerados a partir de diferentes sensores. Desde que haja uma confiabilidade nos coeficientes de calibração, provenientes dos sensores de outros satélites, e que sua rotina de cálculo para a determinação das reflectâncias seja compatível com a aplicada neste artigo.

REFERÊNCIAS

- BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, IAN, W., *Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. International Water Management*, Sri Lanka, Colombo, v. 46, p. 137-155, 2000.
- BASTIAANSEN et al. *SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advanced Training and Users Manual. Idaho: Idaho Department of Water Resources*, 2002. 98p.
- BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA M. C. V.; SILVA, B. B. Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos, SP: INPE, 2007. p. 75-81.
- BRANDÃO, Ziany N. et al. Determinação de Índices de Vegetação Usando Imagens de Satélite para Agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO. 5., 2005, Salvador, BA. *Anais...* Campina Grande: CNPA, 2005.
- CÂMARA, G. *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. São José dos Campos, SP: INPE, 1995. 264 p. Tese de Doutorado (Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. *Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, v. 4, n. 3, p. 490-494, 2007.
- FOLHES, Marcelo T.. Uma aplicação da banda termal do TM/Landsat-5 no gerenciamento dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos, SP: INPE, 2005. p. 3009-3016.
- HUETE, A. R. *A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment*. v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. *Radiometric Properties of U.S. processes Landsat MSS data. Remote Sensing of Environment*, New York, v. 17, p. 39-71, 1987a.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. *Thematic Mapper bandpass solar exoatmospherical radiances. International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987b.
- MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2000. 181p. Dissertação (Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- PEREIRA, J. L. G.; BATISTA G. T.; ROBERTS D. Reflectância de Coberturas Vegetais na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. *Anais...* São José dos Campos, SP: INPE, 1996. p. 551-556.
- PONZONI, F.J.; JUNIOR, J. Z.; LAMPARELLI, R. A. C. Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos, SP: INPE, 2005. p. 1067-1074.
- ROBINOVE, C.J. *Computation with physical values from Landsat digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.48, n.5, p.781-784, 1982.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. *Proceedings...* Washington, D. C.: NASA, Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309- 317.
- SILVA B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V.. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5 - TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.
- VAN DE GRIEND, A. A.; OWE, M. *On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of Remote Sensing*. v. 14, n. 6, p. 1119-1131, 1993.
- VERONA, J. D. **Classificação e Monitoramento Fenológico Foliar da Cobertura Vegetal na Região da Floresta Nacional do Tapajós - Pará, Utilizando Dados Multitemporais do Sensor Thematic Mapper (TM) Do Landsat**. São José dos Campos, SP: INPE, 2002. 161 p. Dissertação de Mestrado (Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.