

## Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens*

Mário Cupertino da Silva Júnior<sup>1</sup>  
Francisco de Assis de Carvalho Pinto<sup>1</sup>  
Daniel Marçal de Queiroz<sup>1</sup>  
Darly Geraldo de Sena Júnior<sup>2</sup>  
Selma Alves Abrahão<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa - UFV  
CEP - 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil  
cupertinojunior@vicosa.ufv.br  
{facpinto, queiroz}@ufv.br  
easelma@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás - UFG  
Caixa Postal 03 - 75804-020 - Jataí - GO, Brasil  
darly.sena@gmail.com

**Abstract.** The present work evaluated the use of multispectral images to detect different doses of nitrogen in *Brachiaria decumbens*. Digital images and chlorophyll measurement of the forage were acquired at different periods after fertilization. Regression analyzes with lack of fit test were accomplished to indicate which variables, vegetation indices and SPAD values, were capable to detect the different nutritional levels. Correlation between vegetation indices and SPAD values were evaluated. The vegetation indices were capable to detect the different levels of nitrogen on the forage for all periods of data acquisition. The correlation between the vegetation indices and chlorophyll content varied from 0,69 to 0,87.

**Palavras-chave:** remote sensing, vegetation indices, forage, SPAD, sensoriamento remoto, índices de vegetação, forrageira, SPAD.

### 1. Introdução

As plantas forrageiras têm sido motivo de muitas pesquisas no país, devido a sua importância na pecuária, o que faz com que o país se destaque na produção e exportação de carne e leite, tornando-o competitivo a nível internacional.

Entretanto, alguns problemas, como o crescente avanço da agricultura sobre áreas de pastagens nestes últimos anos, vem fazendo com que a produção de leite e de carne se desloque para regiões de solos mais pobres, inadequados à agricultura, ocasionando perda na produção. As áreas de pastagens, ao longo dos anos, também vêm sofrendo degradação que, segundo Macedo (1995), é um processo de perda de vigor, de produtividade e de recuperação natural das pastagens. Outro problema é a vantagem financeira da agricultura, que vem exigindo dos pecuaristas o aumento da produtividade e competitividade da exploração para viabilizar a pecuária em terras agricultáveis. Portanto, aumenta-se a necessidade de obter uma maior produção de forragem em um espaço cada vez mais limitado e em condições menos favoráveis.

Uma alternativa recomendada para solucionar estes problemas é a adubação, principalmente a nitrogenada. Todavia é necessário que haja o manejo racional da adubação, com a aplicação de acordo com a necessidade do local, para que não ocorram desperdícios e agressões ao meio ambiente. Para poder efetuar esse tipo de manejo é preciso identificar a disponibilidade nutricional do solo, podendo ser efetuado por meio das plantas.

Ferramentas como medidores de clorofila e medições de reflectância da cultura por meio de equipamentos que avaliam o espectro de reflectância dos objetos, como os radiômetros ou câmeras digitais, têm sido empregados para identificar essa disponibilidade nutricional nas plantas. Sena Júnior (2005) cita que o uso de imagens digitais pode tornar-se a opção mais viável economicamente, devido à popularização das câmeras.

As aplicações de sensoriamento remoto no estudo de culturas agrícolas têm feito uso extensivo dos índices de vegetação, para avaliar a reflectância do dossel de culturas. Pois estes são combinações entre bandas espectrais, que servem para realçar as feições de vegetação e também minimizar efeitos do solo, angulares e atmosféricos (Epiphanyo et al., 1996).

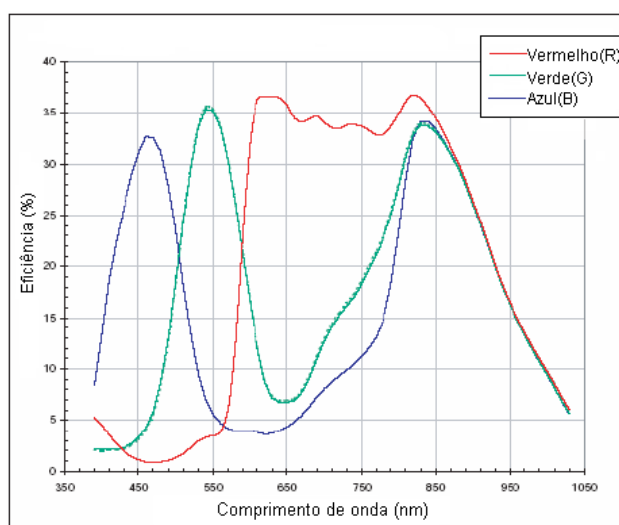
Sendo assim o presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de índices de vegetação, estimados de imagens digitais, para detectar diferentes níveis nutricionais em *Brachiaria decumbens*.

## 2. Material e Métodos

Foi implantado um sistema de sensoriamento remoto em uma área pertencente à Universidade Federal de Viçosa, já cultivada com esta forrageira. Nesta área foram construídas parcelas de 3 x 3 metros, as quais receberam cinco doses de adubo nitrogenado (0, 50, 100, 150 e 200 kg.ha<sup>-1</sup>) com 6 repetições cada, constituindo um delineamento inteiramente casualizado.

Neste sistema foram utilizadas duas câmeras digitais do modelo STH-DCSG-VAR/-C *stereo head* do fabricante Videre Design, uma monocromática acoplada com um filtro passa alta limitante à faixa do infravermelho próximo (NIR), com início no comprimento de onda de 695 nm e término aos 1.050 nm e uma câmera colorida (RGB), cujas curvas de eficiência da sensibilidade do sensor da câmera em função do comprimento de onda estão apresentadas na **Figura 1**. As câmeras capturavam duas imagens, simultaneamente, da mesma cena, constituindo um sistema estereoscópico de aquisição de imagens.

O sistema utilizou uma haste com três metros de altura para levantamento das câmeras e o período de aquisição das imagens se deu aos 15, 21 e 32 dias após a adubação (DAA). Com isso tinham-se imagens de todas as parcelas na banda do NIR e nas bandas R(vermelho), G(verde) e B(azul).



**Figura 1.** Espectro de sensibilidade do sensor MT9V022 das câmeras STH-DCSG-VAR/-C nas bandas vermelho (R), verde (G) e azul (B), referente à câmera colorida, em função do comprimento de onda em nm. Fonte: Videre Design (2005).

As imagens foram transformadas em índices, que são a relação entre duas bandas do espectro, com base nos valores dos pixels das diferentes bandas.

As câmeras foram conectadas a um microcomputador portátil através de cabos com 10 m de comprimento conectados em uma placa de interface digital PCMCIA card IEEE 1394. Para o funcionamento das câmeras foi necessária uma alimentação externa, portanto acoplou-se uma bateria de 12 Vcc à placa PCMCIA card.

O padrão das lentes utilizadas foi C-mount com a distância focal de 2,8 mm. As imagens foram salvas no formato BMP (Bitmap) com dimensão de 480(V) x 640(H) pixels, utilizando o software SRI's Small Vision System (SVS) fornecido pelo próprio fabricante das câmeras. O sensor das câmeras formadores das imagens era o imageador CMOS MT9V022 no formato de 1/3". Sendo assim foi possível obter em todas as imagens a parcela inteira de 3 x 3 m, já que as imagens representavam uma área de aproximadamente 3,18 x 4,87 m com uma resolução espacial de aproximadamente 7 mm pixel<sup>-1</sup>.

As características das câmeras, tempo de exposição, ganho e correção do gamma, foram ajustadas para 50, 17 e 1, respectivamente, por meio do software das câmeras. Com exceção da correção do gamma, estes valores são em porcentagem e foram escolhidos baseados em testes preliminares. O ajuste do foco também foi mantido o mesmo durante todas as aquisições deste sistema de sensoriamento remoto, posicionado no NEAR da lente. Já a abertura da entrada de luz (diafragma) era regulada antes do início da aquisição das imagens, em todos os períodos após a adubação e como não havia numeração no equipamento, a regulagem era feita através da análise da imagem formada no computador pela focalização do alvo (parcela) e observando o efeito do ruído (estouro do pixel) pela quantidade de luz.

O processamento das imagens e cálculo dos índices foi realizado utilizando o programa computacional Matlab, versão 6.5, e o pacote de ferramentas para processamento de imagens digitais.

Dentro de cada imagem, cortou-se um bloco de 240 x 240 pixels, visto que cada imagem enquadrava apenas uma parcela e ao invés da utilização do valor original do pixel das imagens, foram utilizados índices vegetativos, para realçar na imagem a informação a respeito do status nutricional das plantas e atenuar a influência da variação da iluminação natural.

Como o sistema pode adquirir imagens em duas bandas espectrais simultaneamente, foram testados os pares de bandas: NIR (câmera monocromática com filtro NIR) e R (câmera colorida), NIR (câmera monocromática com filtro NIR) e G (câmera colorida).

O valor numérico do pixel é função do sistema óptico (câmera e lente), da geometria de iluminação e das propriedades espectrais do alvo. No presente trabalho, o valor foi função das duas últimas características, já que o primeiro foi mantido constante para cada período de aquisição das imagens. As imagens foram adquiridas das 12 às 14 horas em condições de céu aberto e presença de sol, considerando-se que a iluminação se manteve constante durante os períodos de aquisição das imagens, sendo assim o valor do pixel foi apenas devido às propriedades espectrais do objeto.

Dessa maneira, no processamento de imagens, para efetuar os cálculos dos índices, foi considerado que a reflectância do dossel foi igual à média dos pixels do bloco recortado e a partir destes blocos calcularam-se os índices.

Os índices estudados foram o NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) e GNDVI (índice de vegetação da diferença de verde normalizado) de acordo com as equações 1, 2.

$$NDVI = \frac{IV - Vm}{IV + Vm} \quad (1)$$

$$GNDVI = \frac{IV - Vd}{IV + Vd} \quad (2)$$

em que,

- $V_m$  - valor numérico do pixel na banda do vermelho;  
 $IV$  - valor numérico do pixel na banda do infravermelho próximo;  
 $V_d$  - valor numérico do pixel na banda do verde;  
 $NDVI$  - índice de vegetação da diferença normalizada;  
 $GNDVI$  - índice de vegetação da diferença de verde normalizado.

As estimativas do teor de clorofila foram obtidas utilizando um medidor de clorofila SPAD 502, nos mesmos períodos das imagens, aos 15, 21, 32 DAA. Segundo Costa et al. (2001), este aparelho mede valores SPAD que representam uma medida indireta do teor de clorofila na folha e conseqüentemente pode indicar o status de nitrogênio, devido à proporcionalidade que o nitrogênio possui em relação à clorofila.

Para efetuar as medições, posicionou-se a folha entre o emissor e receptor do equipamento. Foram efetuadas 30 leituras no SPAD em cada parcela, sendo que cada valor foi medido em diferentes folhas ao longo de cada parcela e as folhas escolhidas foram as mais novas completamente expandidas, com o equipamento posicionado na porção intermediária da folha. Após a obtenção dos 30 valores calculou-se a média para representar o teor de clorofila de cada parcela.

Como forma de verificar a existência de relação funcional entre índices e valores de SPAD com as doses de nitrogênio aplicadas foram realizadas análises de variância da regressão com o teste F para a falta de ajustamento e regressão. E para avaliar a relação entre índices e SPAD utilizou-se o método da correlação.

### 3. Resultados e Discussão

As variáveis que ajustaram modelo de primeiro ou segundo grau, resultado não significativo no teste F para falta de ajuste, e que também foram influenciadas pela variação das doses de nitrogênio, resultado significativo no teste F para a regressão, foram consideradas como aptas para caracterizar diferentes níveis nutricionais nesta forrageira. Já as variáveis que apresentaram resultado significativo no teste F para falta de ajuste para os modelos de primeiro e segundo grau foram consideradas como não aptas. Na **Tabela 1** são apresentados os modelos de primeiro ou segundo grau que foram ajustados em todos os períodos de aquisição dos dados.

**Tabela 1.** Modelos ajustados aos dados para cada variável dependente e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) aos 15, 21 e 32 dias após a adubação (DAA).

Modelos ajustados	$R^2$
<b>15 DAA</b>	
$NDVI = 0,2886 + 0,0028 N - 8,6410 \times 10^{-6} N^2$	0,9139
$GNDVI = 0,2025 + 0,0029 N - 8,6190 \times 10^{-6} N^2$	0,9211
<b>21 DAA</b>	
$NDVI = 0,3132 + 0,0010 N$	0,8309
$GNDVI = 0,2253 + 0,0012 N$	0,8691
$SPAD = 34,5462 + 0,1417 N - 3,1143 \times 10^{-4} N^2$	0,9622
<b>32 DAA</b>	
$NDVI = 0,1819 + 0,0012 N$	0,8806
$GNDVI = 0,0845 + 0,0015 N$	0,9081
$SPAD = 31,4867 + 0,0777 N$	0,9558

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; Os coeficientes  $\beta_1$  e  $\beta_2$  dos modelos ajustados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t "student".

Os resultados encontrados mostraram que SPAD aos 15 DAA não ajustou modelos lineares de primeiro ou segundo grau, sendo então não capaz de detectar os diferentes níveis nutricionais, o que indica que as plantas ainda não apresentavam resposta significativa à adubação. Por outro lado, os índices vegetativos se ajustaram a modelos de segundo grau, o que indica que os dosséis das plantas foram influenciados pela aplicação de nitrogênio, proporcionando variações nos valores digitais em cada tratamento. As plantas provavelmente apresentavam nível de absorção dos nutrientes e desenvolvimento que permitiram detectar alterações somente no dossel.

Aos 21 e 32 DAA todas as variáveis ajustaram modelos lineares de primeiro e/ou segundo grau, indicando que nestes períodos houve uma maior facilidade em detectar os diferentes níveis.

Os valores dos coeficientes das correlações entre os índices, resultantes de modelos lineares de primeiro ou segundo grau, com valores de SPAD estão apresentados na **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Correlações entre os índices de vegetação que obtiveram modelos ajustados e SPAD aos 15, 21 e 32 dias após adubação (DAA)

ÍNDICES	15 DAA	21 DAA	32 DAA
	SPAD	SPAD	SPAD
NDVI	0,8705**	0,7999**	0,6909**
GNDVI	0,8728**	0,8163**	0,7344**

\*\* correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade; NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD;

O índice GNDVI obteve os maiores valores de correlação com o SPAD em todos os períodos de aquisição dos dados, sendo considerado o índice mais indicado para detectar os diferentes níveis nutricionais.

O GNDVI também teve tendência de maiores valores de  $R^2$  nos modelos ajustados e dos maiores valores de correlações, mostrando que o uso da banda verde da câmera colorida foi mais sensível para detectar os diferentes níveis nutricionais do que o uso da banda vermelha. Gitelson et al. (1996) verificaram que o GNDVI foi muito mais sensível que o NDVI para identificar diferentes taxas de concentração de clorofila em duas espécies de plantas.

No geral, as correlações entre as variáveis foram altas, com uma tendência de diminuir com o avanço dos dias após a adubação. Este fato também foi observado por Meneses et al. (2001) em estudos de comportamento espectral de plantas, os autores citam que o aumento do número de folhas leva à saturação os valores dos índices, diminuindo a resposta dos índices com o avanço do desenvolvimento das plantas.

#### 4. Conclusão

De acordo com os resultados verificou-se que o sistema de sensoriamento remoto foi capaz de detectar os diferentes níveis nutricionais na forrageira nos períodos testados e que existe boa relação entre os índices e os valores estimados do teor de clorofila, pelo medidor de clorofila. Isto nos leva a inferir que os índices testados têm potencialidade para identificar áreas com estresse nutricional ou com outro problema cuja consequência seja alteração da tonalidade foliar.

O índice GNDVI foi o que melhor se correlacionou com SPAD em todos os períodos de aquisição dos dados, logo o uso da banda verde se mostrou mais eficiente na relação com a estimativa nutricional foliar do que o uso da banda vermelha.

## Referências

- Costa, C.; Dwyer, L. M.; Dutilleul, P.; Stewart, D. W.; Ma, B. L.; Smith, D. L. Inter-relationships of applied nitrogen, spad, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p.1173-1194, 2001.
- Epiphânio, 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**, v.31, n.6, p.445-454, 1996.
- Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; Merzlyak, M. N. Use of channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing Environment**, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996.
- Macedo, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p. 28-62.
- Meneses, R.; Madeira Neto, J. S. **Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília, 2001, 262 p.
- Sena Júnior, D. G. **Utilização de técnicas de visão artificial para ajuste da adubação nitrogenada em trigo**. 2005. 149 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.
- Videre Design. **STH-DCSG-VAR/-C Stereo Head User`s Manual**. Califórnia, EUA, 2005. 27 p.