

## CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMATIZADA (NDVI) E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA SECA DE BRAQUIÁRIA BRIZANTA

GILMAR O. SANTOS<sup>1</sup>, DAVID L. ROSALEN<sup>2</sup>, ROGÉRIO T. DE FARIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Agronomia, Depto. Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), Jaboticabal-SP, Fone: (0xx18) 98122-7569, gilmar\_engambiental@yahoo.com.br. <sup>2</sup>Professor, Doutor, Depto. Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal-SP.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014 - Campo Grande - MS, Brasil

**RESUMO:** O uso de tecnologias baseadas em sensoriamento remoto podem favorecer a estimativa de produção e o estado nutricional das culturas. Neste trabalho, avaliou-se a correlação entre o índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) com a produção de biomassa seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu fertirrigada com doses de efluente de esgoto tratado (EET). Os índices de mensuração da biomassa seca foram medidos com um sensor óptico portátil (GreenSeeker) antes de colheitas realizadas a cada 28 dias, de maio de 2012 a outubro de 2013, em um experimento conduzido na FCAV-Unesp, em Jaboticabal, SP. Foram avaliados cinco tratamentos fertirrigados com as seguintes frações de EET em água: E5=1,0; E4=0,87; E3=0,6; E2=0,31, E1=0,11. No tratamento E5 foram aplicadas as seguintes quantidades de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) via EET: N=353,4, P=6,6, K=111,3, Ca=90,9, Mg=33,1, Na=299,4, Fe=2,2, Mn=0,5 e Zn=5,0. Os demais tratamentos receberam quantidades proporcionais às frações de aplicação definida em cada tratamento. A produção de biomassa seca e de NDVI foram crescentes com a concentração de EET aplicado. As medidas de NDVI apresentaram alta correlação ( $R > 0,8$ ) com a produção de biomassa seca, demonstrando que o método pode ser usado para a estimativa de produção de forragem.

**PALAVRAS-CHAVE:** estimativa de forrageira, GreenSeeker, sensoriamento remoto

## CORRELATION BETWEEN VEGETATION INDEX NORMALIZED DIFFERENCE (NDVI) AND DRY BIOMASS PRODUCTION OF BRACHIARIA BRIZANTA

**ABSTRACT:** The use of remote sensing based technologies can promote the production estimate and the nutritional status of crops. In this study, we evaluated the correlation between vegetation index normalized difference (NDVI) with dry biomass production of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu fertigation with doses of treated sewage effluent (TSE). The indices mensuration the dry biomass were measured with a portable optical sensor (GreenSeeker) before harvests every 28 days, from may 2012 to october 2013, in an experiment conducted in FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP. Were evaluated five treatments fertirrigated with the following fractions of TSE in water: E5=1.0; E4=0.87; E3=0.6; E2=0.31, E1=0.11. In the treatment E5 were applied the following amounts of nutrients (kg ha<sup>-1</sup>) via TSE: N=353.4, P=6.6, K=111.3, Ca=90.9, Mg=33.1, Na=299.4, Fe=2.2, Mn=0.5 e Zn=5.0. The other treatments received quantities proportional to the fractions of application defined in each

treatment. The dry biomass yield and NDVI increased with the concentration of TSE applied. NDVI measures were highly correlated ( $R>0.8$ ) with the dry biomass production, showing that the method can be used to estimate forage production.

**KEYWORDS:** estimation of forage, GreenSeeker, remote sensing

## INTRODUÇÃO

Uma das principais respostas de uso das geotecnologias é a previsão de produtividade agrícola e a estimativa do estado nutricional das culturas. O uso do GreenSeeker permite uma avaliação rápida e sem causar impactos nas culturas agrícolas.

Desenvolvido em 1990 pela Universidade de Oklahoma (EUA), o GreenSeeker utiliza diodos de emissão de radiação nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm), realizando leituras de reflectância determinada por microprocessador interno, fornecendo como resposta diferentes Índices de Vegetação, dentre eles, o Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI), o qual é transmitido e registrado num dispositivo móvel.

O GreenSeeker pode ser utilizado para estimativa de produção e qualidade nutricional devido a quantidade de clorofila nas folhas. Para Povh (2007) a clorofila absorve a luz incidente nas bandas azul e vermelha e reflete a luz na banda do verde, sendo que as quantidades absorvidas são proporcionais à quantidade de clorofila foliar.

O nitrogênio absorvido pelas plantas está presente na clorofila, assim, podem-se obter estimativas indiretas do status nutricional da planta. Para os autores, o pigmento da clorofila absorve a radiação nos comprimentos de onda dentro do espectro do visível, enquanto que a radiação no infravermelho próximo é refletida pela folha (POVH et al., 2007).

A correlação entre os índices espectrais e o acúmulo de biomassa ocorre devido aos teores elevados de clorofila na planta em função da aplicação de nitrogênio, resulta no incremento de área foliar e da atividade fotossintética (GROSH et al., 2009).

O estado nutricional das plantas em relação à aplicação de nitrogênio pode ser estimado pela modificação da reflectância do dossel, por haver relação inversa entre a variável e o teor de clorofila. Assim, o GreenSeeker vem sendo amplamente utilizado em culturas que são aplicados níveis graduais de nitrogênio, pois o NDVI pode indicar o estado nutricional da planta em relação ao nitrogênio (GROSH et al., 2009).

De acordo com Povh (2007) em condições de maior cobertura do solo com as plantas, associada às boas condições de desenvolvimento e fertilidade adequada ocorre um pico de absorção na banda do vermelho. Quando isso ocorre, o NDVI se torna insensível às alterações de biomassa, que posteriormente refletem em produtividade. Para Jensen (2009) o NDVI é um indicativo de atividades da vegetação, além de possibilitar determinar índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila e biomassa verde.

Dessa forma, neste trabalho, avaliou-se a correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com a produção de biomassa seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu fertirrigada com doses de efluente de esgoto tratado (EET).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), em Jaboticabal, SP (latitude 21°14'41,9"S e longitude 48°16'25,2"O). Utilizou-se efluente proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Dr. Adelson Taroco, localizada próxima à área experimental. Essa ETE coleta esgoto da cidade de Jaboticabal,

cujos município possui 71.662 habitantes, área territorial de 707 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 101,4 hab km<sup>-2</sup> (IBGE, 2010).

De acordo com a classificação climática de Köppen, Jaboticabal apresenta clima subtropical úmido, Aw, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso (ROLIM et al., 2007) com temperatura média anual de 22,2°C, precipitação média de 1.425 mm ano<sup>-1</sup> e deficiência e excedente hídrico de 56 e 400 mm ano<sup>-1</sup>, respectivamente. As condições climáticas durante o período experimental são apresentadas na Tabela 1.

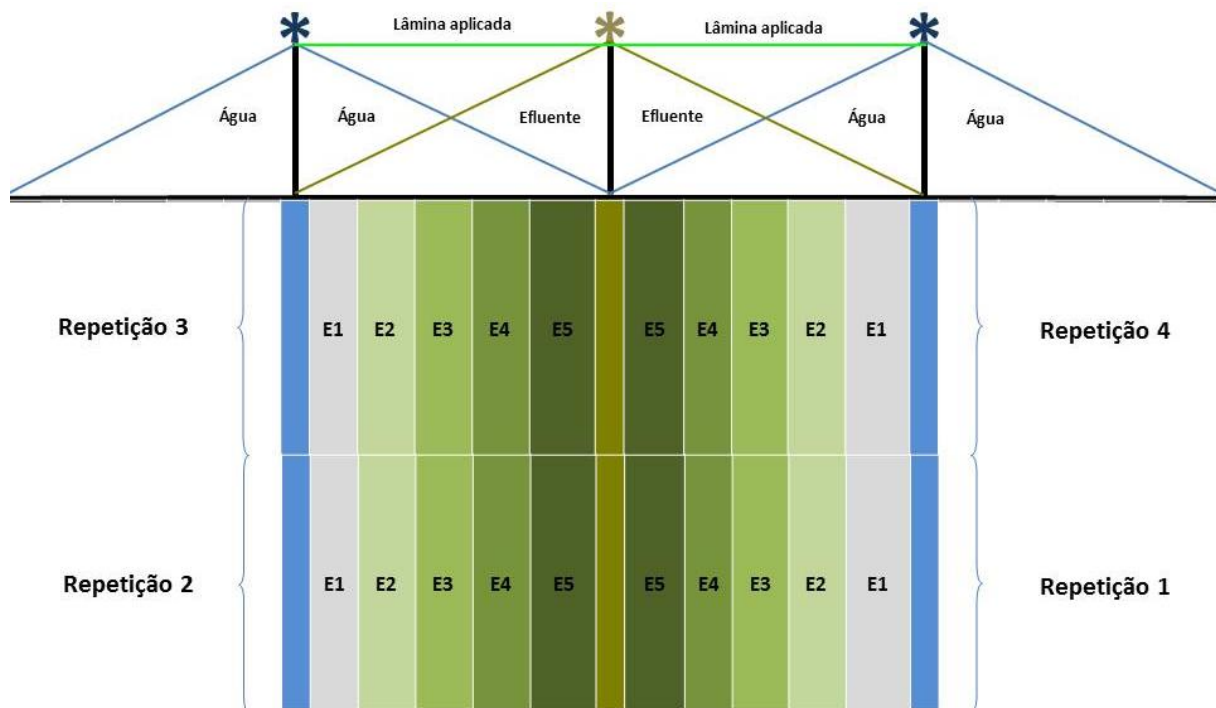
**Tabela 1.** Características climáticas médias do município de Jaboticabal, SP, em 2013.

Estações do ano	Temperatura do ar (°C)			Umidade do ar (%)	Radiação global (MJ m <sup>-2</sup> )	Precipitação (mm)	ET <sub>o</sub> (mm)
	mín	máx	méd				
Verão	14,6	35,0	23,8	76,9	2.195,4	747,8	478,9
Outono-Inverno	4,6	31,3	20,0	69,2	1.935,5	220,7	371,5
Primavera	5,4	35,9	22,8	63,6	2.130,1	419,4	496,0

Fonte: UNESP (2013).

O solo da área experimental é Latossolo Vermelho eutroférico típico, com textura muito argilosa, A moderado, caulínico, relevo suave ondulado e ondulado (ANDRIOLI e CENTURION, 1999).

O experimento tem área útil de 288 m<sup>2</sup>, constituídas de 20 parcelas de 14,4 m<sup>2</sup>, com 2,4 m de largura e 6 m de comprimento. Distribuição uniforme da lâmina de irrigação e gradual de EET foi obtida com um sistema de aspersão em linha tripla, possibilitando definir cinco tratamentos, em quatro repetições, com as seguintes frações do efluente em água: E5=1,0; E4=0,87; E3=0,6; E2=0,31 e E1=0,11 (Figura 1).



**Figura 1.** Delineamento experimental com as linhas de distribuição gradual de EET em água.

O controle da fertirrigação segue a necessidade nutricional da cultura proposta por Vilela et al. (1998) de reposição de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) exportado pelas forrageiras ao longo do ano ou a demanda hídrica pelo método FAO 56, no tratamento

referência (E3), considerando o de maior valor. Devido à baixa concentração de P e K no EET para suprir a demanda nutricional da forrageira, estes foram complementados com adubação mineral (Tabela 2).

**Tabela 2.** Aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio (kg ha<sup>-1</sup>) no tratamento E5 por ciclo.

Ciclo	Nitrogênio		Fósforo		Potássio	
	EET	EET	Mineral	EET	Mineral	
DIN	375,2	27,1	430,2	129,1	171,2	
1°	37,2	0,9	4,0	12,0	20,3	
2°	47,1	1,0	4,9	15,6	24,8	
3°	44,8	0,9	4,5	14,8	22,8	
4°	72,4	1,2	3,0	21,6	20,2	
5°	78,9	1,2	3,2	22,1	16,5	
6°	73,0	1,3	9,9	25,1	50,8	
Total	728,6	33,7	459,7	240,4	326,6	

DIN: Disposição inicial de nitrogênio ao solo antes das avaliações através do GreenSeeker.

Os demais tratamentos receberam quantidades proporcionais às frações de aplicação definida em cada tratamento

O sensor ótico ativo utilizado foi o GreenSeeker Hand Held<sup>TM</sup>, portátil. O sensoriamento de avaliação com o GreenSeeker foi realizado manualmente, com passagem sobre a forrageira a uma altura de 0,5 m, avaliando sempre as linhas centrais de cada parcela. O monitoramento era feito sempre um dia antes do início da colheita. A calibração do GreenSeeker era realizada sempre em solo sem vegetação.

As leituras em todos os tratamentos foram obtidas a partir de uma altura média de 0,8 a 1,0 m entre o sensor e o alvo (GROHS et al., 2009) realizada em 7,2 m<sup>2</sup> (12 m de deslocamento linear sobre a unidade experimental, multiplicado pela largura útil de 0,6 m captada pelo sensor). Foram gerados de 20 a 30 medições de NDVI por tratamento.

Segundo Rouse et al. (1973) apud Grohs et al. (2009) o NDVI foi determinado (Equação 1) para quantificar o crescimento da vegetação, variando com valores entre -1 e +1, caracterizando as áreas de solo nu ou sem vegetação e com vegetação, respectivamente, quanto maior o valor do NDVI, maior o vigor de crescimento da cultura.

$$NDVI = \frac{(\rho_{nir} - \rho_r)}{(\rho_{nir} + \rho_r)} \quad (1)$$

em que,

NDVI: Índice de vegetação por diferença normatizada,  
 pnir: Reflectância no infravermelho próximo (770 nm), e  
 pr: Reflectância no vermelho (650 nm).

Após a medição de reflectância, foi realizada a medição da altura de planta e colheita da forragem para quantificação da produção de biomassa seca na mesma área medida pelo sensor.

Através do teste de Scott-Knott, avaliou-se seis colheitas realizadas a cada 28 dias (01/05/2013 a 15/10/2013). A produção de biomassa seca foi determinada com auxílio de gabarito (0,25 m<sup>2</sup>) lançado aleatoriamente em três repetições na parcela e quatro por tratamento. A forragem remanescente foi de 15 cm de altura. A forrageira foi homogeneizada e posteriormente retirada uma amostra para ser pesada e levada à estufa com circulação de ar forçada, determinando-se a biomassa seca a 65°C até peso constante.

Utilizou-se a interpretação de correlação entre variáveis proposta por Callegari-Jacques (2003) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação.

Intervalo	Interpretação
0,0 - 0,3	Fraca correlação
0,3 - 0,6	Moderada correlação
0,6 - 0,9	Forte correlação
0,9 - 1,0	Correlação muito forte

Com auxílio do programa SISVAR v.5.3 (FERREIRA, 2011) avaliou se houve diferença significativa no índice de vegetação por diferença normatizada entre os tratamentos.

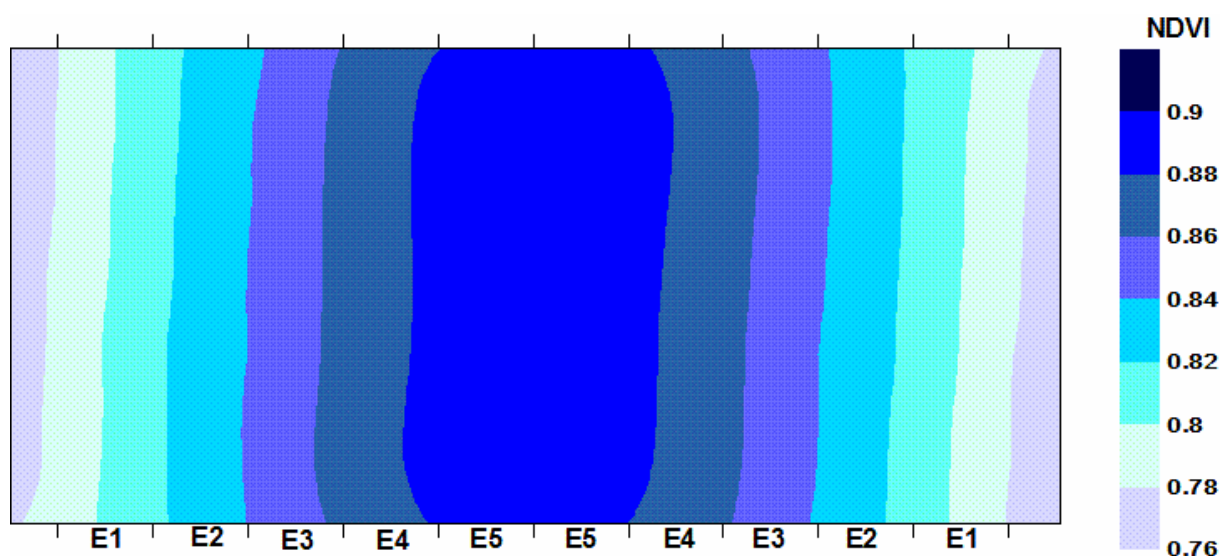
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Níveis graduais de EET proporcionou significância entre os tratamentos com resposta positiva pelo NDVI na produção de braquiária em todos os ciclos avaliados (Tabela 4 e Figura 2).

**Tabela 4.** Índice de vegetação por diferença normatizada da braquiária brizanta fertirrigada com doses de EET.

Tratamento	Ciclo						Média
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
E5	0,942 a	0,927 a	0,937 a	0,795 a	0,795 a	0,922 a	0,89
E4	0,932 a	0,915 a	0,935 a	0,770 a	0,752 a	0,922 a	0,87
E3	0,907 a	0,882 b	0,920 a	0,727 b	0,700 b	0,897 a	0,84
E2	0,852 b	0,845 c	0,892 b	0,697 c	0,680 b	0,862 b	0,81
E1	0,827 b	0,807 d	0,855 c	0,632 d	0,652 b	0,850 b	0,77
Cv (%) =	2,13	1,72	2,25	4,18	4,52	2,45	-

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.



**Figura 2.** Espacialização do índice de vegetação por diferença normatizada da braquiária brizanta fertirrigada com doses de EET.

Níveis de EET acima de 0,6 foram significativamente superiores aos demais tratamentos em todos os ciclos avaliados. Para Deghaid (2013) quando a cultura está em pleno desenvolvimento, pode resultar na homogeneidade da reflectância saturando o NDVI.

Os ciclos que foram obtidos na transição do verão para o outono (1 e 2º ciclos), apresentaram maiores valores de NDVI.

No outono-inverno, a redução de adubação nitrogenada no 3º ciclo repercutiu nos valores de NDVI do 4º ciclo.

Na primavera, período de desenvolvimento das forrageiras, houve maior produção de biomassa seca, resultando no aumento da adubação nitrogenada e maiores valores de NDVI.

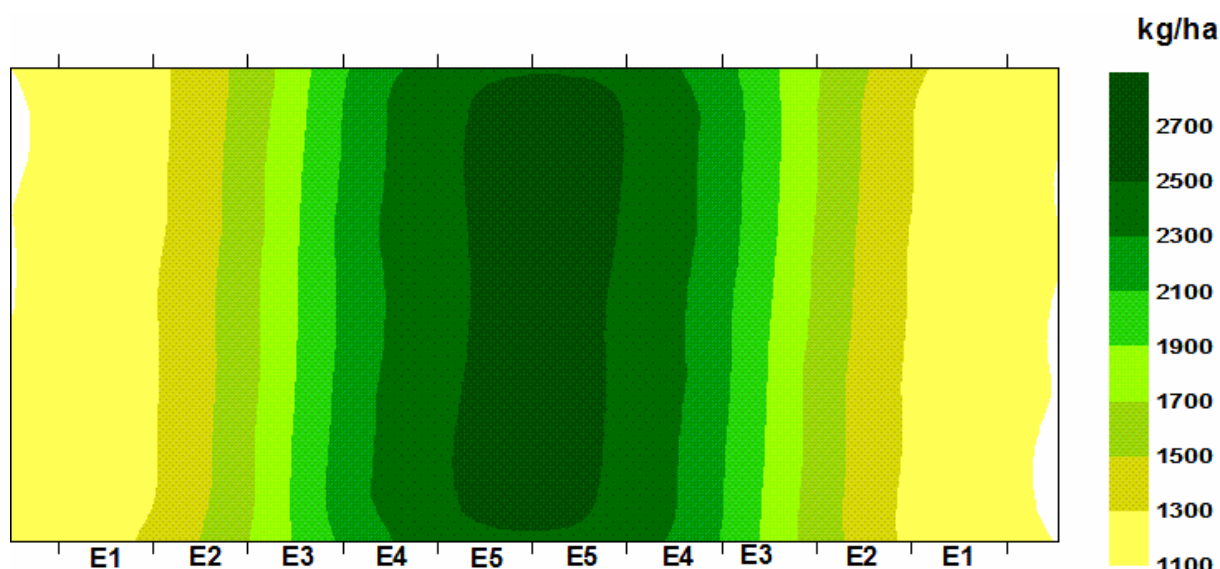
Deghaid (2013) avaliando o NDVI com a produção de massa verde e seca obtiveram regressão linear positiva e coeficientes de correlação de 0,31 e 0,27, respectivamente. Os baixos valores de NDVI foram atribuídos à exposição de solo nu entre fileiras de plantas.

Assim como o NDVI, os níveis graduais de EET corresponderam positivamente na produção de biomassa seca da braquiária (Tabela 5 e Figura 3).

**Tabela 5.** Produção de biomassa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) média da braquiária brizanta fertirrigada com doses de EET.

Tratamento	Ciclo						Média
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	
E5	2.036	a 2.444	a 2.211	a 1.526	a 1.529	a 5.376	a 2.520
E4	1.959	a 2.530	a 1.899	b 1.440	a 1.287	a 4.356	b 2.245
E3	1.376	b 1.834	b 1.688	b 1.120	b 914	b 2.823	c 1.626
E2	968	c 1.184	c 1.430	c 896	b 716	b 2.080	d 1.212
E1	880	c 1.058	c 1.104	d 920	b 761	b 1.936	d 1.110
Cv (%) =	15,45	17,02	10,46	15,38	27,98	12,12	-

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.



**Figura 3.** Espacialização da produção de biomassa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) média da braquiária brizanta fertirrigada com doses de EET.

A produtividade de biomassa seca foi crescente em função da aplicação de nitrogênio no solo via EET em todos os ciclos avaliados. A adubação concentrada via EET (E5) proporcionou aumento de produção de biomassa seca em até 90,4% em relação ao tratamento referencia (E3) no 6º ciclo.

Através de regressões entre a produção de biomassa seca da braquiária e o NDVI obteve-se alta correlação entre os dados, sendo assim, uma ferramenta no manejo de forragem, assim como, possivelmente, alto teor de nitrogênio foliar (Tabela 6).

**Tabela 6.** Regressão da produção de biomassa seca (kg ha<sup>-1</sup>) média com o índice de vegetação por diferença normalizada da braquiária fertirrigada com doses de EET.

Ciclo	Regressão	R <sup>2</sup>
1°	$\hat{Y} = 43.275X^2 - 67.218X + 26.856$	0,67
2°	$\hat{Y} = 28.357X^2 - 36.140X + 11.661$	0,82
3°	$\hat{Y} = 53.945X^2 - 83.868X + 33.282$	0,83
4°	$\hat{Y} = 5.670,5X^2 - 3.618,8X + 807,7$	0,70
5°	$\hat{Y} = 29.664X^2 - 36.815X + 12.098$	0,76
6°	$\hat{Y} = 409.253X^2 - 681.382X + 285.040$	0,71

A regressão entre produção de biomassa seca e o NDVI apresentou correlação forte a muito forte. Deghaid (2013) avaliando a correlação entre o NDVI e a produtividade do amendoim, obteve significância quadrática positiva do NDVI, com coeficiente de correlação de 0,603.

Grohs et al. (2009) avaliando a relação entre o índice de vegetação por diferença normalizada e a biomassa acumulada na parte aérea, por ocasião da emissão da sexta folha, em cinco cultivares de trigo e cevada sobre resteva de milho e soja, obteve coeficiente de correlação, ajustado a função quadrática, significativos variando de 0,61 a 0,87.

Povh et al. (2007) avaliando a correlação entre o NDVI com as doses de nitrogênio na cultura do trigo, mostraram que o NDVI e a produção de biomassa seca no final do emborrachamento foram satisfatórios, com coeficiente de correlação variando de 83% e 99%.

## CONCLUSÕES

As medidas de NDVI apresentaram alta correlação ( $R > 0,8$ ) com a produção de biomassa seca, demonstrando que o método pode ser usado para a estimativa de produção de forragem.

O uso gradual de EET proporcionou maior produção de biomassa seca com melhor qualidade nutricional, representados pelos elevados valores médios de NDVI ( $> 0,77$ ).

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela ajuda financeira e ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal - SAAEJ pela disponibilidade do efluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, Brasília, 1999. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 32p. (CD-ROM).
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

DEGHAI, J. **Correlação entre o índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI) e características agrônômicas da cultura do amendoim**. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 2013. 54p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n.1, p.101-112, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <[www.ibge.org.br](http://www.ibge.org.br)>. Acesso em: 23/10/2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2°ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604p.

POVH, F. P. **Utilização de sensor ótico ativo em culturas de cereais**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2007. 86p.

POVH, F. P.; GIMENEZ, L. M.; SALVI, J. V.; FRASSON, F. R.; MOLIN, J. P.; PAULETI, V. Uso de sensor ótico ativo aplicado ao manejo de nitrogênio no trigo. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 2007, p.343-350.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Koppen e Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, p.711-720, 2007.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Dados climáticos diários**. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M. **Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrado. Circular Técnico 37. 1998. 16p.