

CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E SÉRIES MULTITEMPORAIS EVI EM FLORESTA NATURAL E EM CULTIVO AGRÍCOLA

Carlos Alexandre Damasceno Ribeiro¹, Christovão Pereira Abrahão², Alexandre Cândido Xavier³

(recebido: 27 de maio de 2008; aceito: 27 de fevereiro de 2009)

RESUMO: Através da utilização de séries multitemporais de dados EVI (Enhanced Vegetation Index) e de variáveis climáticas, foram ajustados 990 modelos, divididos entre ambiente de floresta natural e cultivo agrícola. A área de estudo localiza-se no município de Sooretama, ao norte do estado do Espírito Santo, entre os paralelos 18° 53'53"S e 19° 30'00"S e os meridianos 39° 50'00"W e 40° 15'50"W. Pressupôs-se que os dados EVI variaram exclusivamente em função da pluviosidade (PP), temperatura (T), umidade relativa (UR) e fotoperíodo (FP), então essas quatro variáveis foram agrupadas de todas as formas possíveis, totalizando 15 combinações. Na investigação das correlações entre EVI e variáveis climáticas, foram considerados 33 níveis diários de defasagem temporal que a vegetação necessita para superar os estresses decorrentes do clima (por exemplo, estresse hídrico). Os modelos foram ajustados através do método dos mínimos quadrados ordinários e avaliados através dos coeficientes de determinação (R^2). Concluiu-se que, nas áreas de cultivo agrícola, há maior correlação entre EVI e variáveis climáticas quando considera-se poucos dias de defasagem, enquanto que na floresta natural ocorre o contrário. Modelos que possuem somente 2 das 4 variáveis apresentaram capacidade preditiva semelhantes àqueles que utilizaram todas. Os modelos com maior capacidade preditiva para a floresta natural incluíram o FP, enquanto que, para a área de cultivo agrícola, foram os que incluíram a T. As 3 variáveis independentes no cultivo agrícola que, em conjunto, mais se correlacionaram com o EVI foram: T, UR e PP.

Palavras-chave: Séries multitemporais, EVI, variáveis climáticas, defasagem multitemporal, correlações.

CORRELATIONS BETWEEN CLIMATIC VARIABLES AND MULTITEMPORAL EVI IMAGES IN NATURAL FOREST AND CROPPING AREAS

ABSTRACT: Through the utilization of multitemporal series of EVI (Enhanced Vegetation Index) data and climatic variables, 990 models have been adjusted, divided between natural forest environments and cropping areas. The study area locates in the city of Sooretama, to the north of the State of Espírito Santo, between the parallels 18° 53'53"S and 19° 30'00"S and the meridians 39° 50'00"W and 40° 15'50"W. It's been assumed that the EVI data vary exclusively in function of the pluviosity (PP), temperature (T), relative humidity (UR) and photoperiod (FP). So, these four variables were grouped in all possible ways, totaling fifteen combinations. In the investigation of the correlations between EVI and climatic variables, were also considered the lag that the vegetation needs to overwhelm the stress (e.g. hydric stress). The models have been adjusted through the ordinary least-squares method and evaluated by the determination coefficients (R^2) values. It was concluded that while in the natural forest the EVI has a higher correlation with climatic variables applying more days of lag, in cropping areas the inverse was observed. Models contents two variables showed to have a predictive capacity close to the ones with four variables. The models with bigger predictive capacity for the natural forest had included the FP, whereas for the cropping area they had been the ones that had included the T. The 3 independent variables in the cropping areas more correlated with the EVI were T, UR and PP.

Key words: Multitemporal series, EVI, climatic variables, lag, correlations.

1 INTRODUÇÃO

As variações em uma comunidade vegetal ocorrem, por vezes, sazonalmente em função de fatores bióticos e abióticos. Estudar como as comunidades vegetais respondem às variáveis abióticas, especialmente às climáticas, contribui para o entendimento das mudanças ocorridas, e daquelas que estão por ocorrer, na estrutura e

função dos ecossistemas terrestres. A dinâmica da vegetação natural e agrícola é uma informação importante nos modelos regionais e globais destinados ao entendimento da variabilidade interanual de ecossistemas terrestres, quando se estudam as interações biosfera-clima (ZHANG et al., 2003). Fatores climáticos, como temperaturas excessivamente altas ou baixas e precipitação deficiente, são significativas fontes de estresse abiótico

¹Engenheiro Florestal, Mestrando em Produção Vegetal pelo Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias/UFES – Alto Universitário – Cx. P. 16 – 29500-000 – Alegre, ES – alexandredamasceno@yahoo.com.br

²Engenheiro Florestal DSc. em Tecnologia da Madeira – Departamento de Engenharia Florestal/DEF – Universidade Federal de Viçosa/UFV – 36570-000 – Viçosa, MG – cabrahao@gmail.com

³Professor DSc. – Departamento de Engenharia Rural – Centro de Ciências Agrárias/CCA – Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – Alto Universitário – Cx. P. 16 – 29500-000 – Alegre, ES – xavier@cca.ufes.br

(LARCHER, 2000). Mudanças sazonais na disponibilidade dos recursos naturais atuam de forma potencializadora ou limitante no crescimento da vegetação, alterando a taxa de acumulação de biomassa e a taxa de senescência (LEE et al., 2002).

Para observação remota da estrutura da vegetação, bem como da sua distribuição espacial e temporal, foram desenvolvidos índices de vegetação (IV) que são sensíveis a essas variações. A definição dos IV baseia-se tanto na alta absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa pelos pigmentos das plantas, quanto no alto espalhamento da radiação solar, pela estrutura celular das folhas na região do infravermelho próximo (GATES et al., 1965).

Os IV são funções matemáticas de duas ou mais bandas espectrais, tornando-os sensíveis às variações espaço-temporal da vegetação terrestre (HUETE et al., 2006). O EVI (sigla originada da grafia inglesa que em português significa Índice de Vegetação Realçado), especialmente desenvolvido para o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo do satélite TERRA é um novo índice de vegetação menos sensível às variações do solo e aos efeitos atmosféricos e, portanto, mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE et al., 2002). O EVI é expresso de acordo com a seguinte equação:

$$EVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 * \rho_{RED} - C_2 * \rho_{BLUE} + L}$$

onde: $L = 1$; $C_1 = 6$; $C_2 = 7,5$. O fator L e os coeficientes C_1 e C_2 descrevem o uso da banda azul para correção dos efeitos atmosféricos ocorridos na banda do vermelho, ρ_{NIR} é a reflectância no infravermelho próximo, ρ_{RED} é a reflectância no vermelho, ρ_{BLUE} é a reflectância no azul.

Esse e outros índices têm sido utilizados nas mais diversas investigações científicas onde é possível relacionar elementos meteorológicos e vegetação, aplicando ainda defasagem entre os dados agrometeorológicos e IV's como os trabalhos apresentados por Braga et al. (2003) no Nordeste do Brasil, Wang et al. (2004) na China e Chandrasekar et al. (2006), na Índia.

O EVI fornece, sobretudo, valores úteis à modelagem numérica, ferramenta essencial no estudo de variações interanuais da vegetação em função de variações no clima, facilitando o entendimento das alterações climáticas. O entendimento da relação entre as variáveis climáticas e a vegetação nas condições climáticas atuais é

informação importante na fundamentação teórica dos modelos biogeográficos como o Modelo de Vegetação Potencial desenvolvido por Oyama & Nobre (2004), que simula a distribuição da vegetação sob adversas condições climáticas.

A vegetação necessita de certo período para responder às adversidades climáticas, isto é, há necessidade de que ocorra um intervalo de tempo entre a época chuvosa e um acúmulo de biomassa verde, por exemplo. Essa defasagem temporal entre causa (chuva) e efeito (acúmulo de biomassa verde) é necessária para a recuperação da capacidade fotossintética e produção de carboidratos estruturais destinados à formação de folhas. Portanto a defasagem deve ser considerada quando se tem como objetivo estabelecer uma relação numérica entre vegetação e variáveis climáticas.

Objetivou-se, no presente trabalho, analisar as correlações entre dados multitemporais EVI de uma área de cultivo agrícola e outra de floresta natural com as seguintes variáveis climáticas: pluviosidade (PP), temperatura (T), fotoperíodo (FP) e umidade relativa (UR), segundo diferentes níveis de defasagem temporal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Devido à natureza e à quantidade de dados utilizados para desenvolvimento do trabalho foram empregados softwares específicos para cada etapa, como o SPRING 4.2, para coleta da série de dados multitemporais EVI, e um algoritmo sobre a plataforma MATLAB®, especialmente desenvolvido para o ajuste dos modelos de regressão linear simples e múltipla.

O procedimento de análise dos dados adotado neste estudo é análogo àquele utilizado por Batista et al. (1997). Dessa forma, o desenvolvimento do estudo foi assim conduzido:

1. Determinação e caracterização das áreas de estudo;
2. Coleta de dados climáticos e seu pré-processamento;
3. Coleta dos dados EVI e seu pré-processamento;
4. Definição da defasagem entre dados EVI e variáveis climáticas;
5. Ajuste dos modelos por regressão linear simples e múltipla, com e sem defasagem.

2.1 Determinação e caracterização das áreas de estudo

A área de estudo está localizada em uma superfície de tabuleiros costeiros compreendida entre os paralelos

18° 53'53"S e 19° 30'00"S e os meridianos 39° 50'00"W e 40° 15'50"W, no município de Sooretama, ao norte do Estado do Espírito Santo (Figura 1). A vegetação da região é caracterizada por cultivos agrícolas e floresta natural. Clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas concentradas no verão, classificado como Aw por Köeppen. Foram selecionados dois tipos de fitofisionomias: uma de floresta natural na Reserva Biológica Sooretama e outra em área agrícola adjacente à reserva.

2.2 Coleta de dados climáticos e processamento

Foram utilizados dados climáticos da estação Linhares (Lat.: 19,40° S; Long.: 40,07° W; Altitude: 28 m)

para o ambiente de cultivo agrícola e dados da estação Fazenda Experimental Sooretama (Lat.:19,11° S; Long.: 40,08° W; Altitude: 75 m) para floresta natural, sendo para ambos fornecidos valores referentes às médias diárias das seguintes variáveis: temperatura do ar (T, em graus Celsius), umidade relativa (UR, em porcentagem), fotoperíodo (FP, em horas) e pluviosidade (PP, em mm). O fotoperíodo foi calculado de acordo com a seguinte equação (PEREIRA et al., 2002):

$$N = \frac{2 Hn}{15^\circ}, \text{ onde } Hn = \arccos [-\text{tg}\Phi * \text{tg}\delta] \quad (1)$$

em que: N = fotoperíodo; Hn = ângulo horário na hora do nascer do sol; Φ = latitude ; δ = declinação solar. A partir

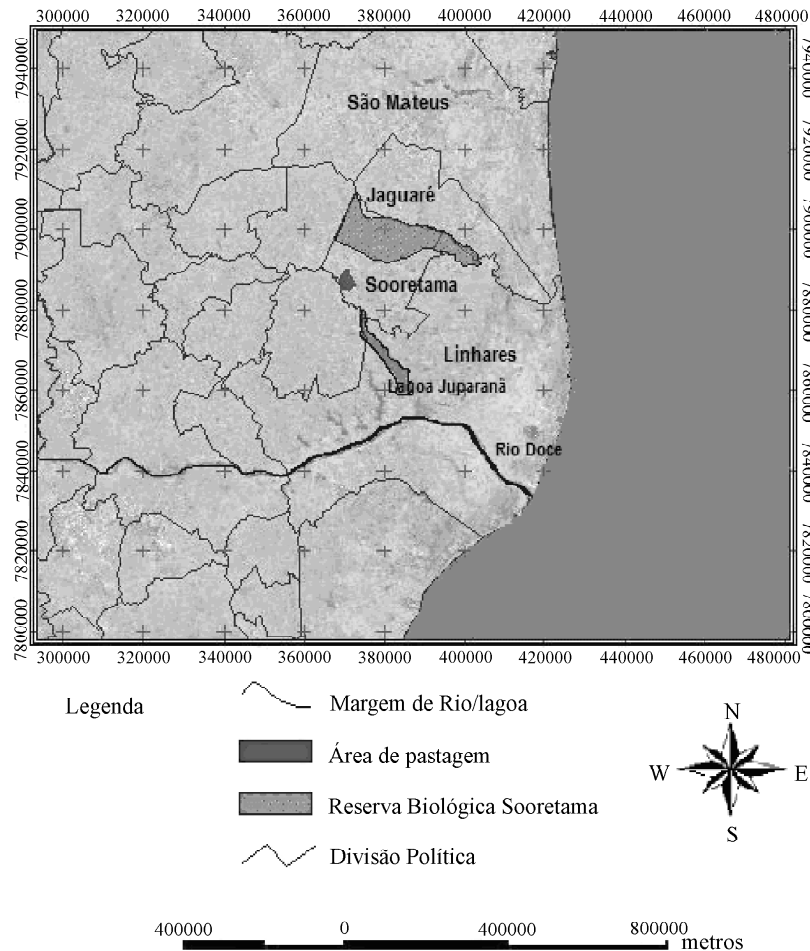


Figura 1 – Localização das áreas de estudo.

Figure 1 – Localization of the study areas.

dos dados climáticos foram geradas séries temporais das variáveis envolvidas, com intuito de se obter o melhor período para realização do estudo. As séries multitemporais obtidas de janeiro de 2000 a dezembro de 2005, depois de tabuladas, foram reduzidas para março de 2000 a março de 2004. Isso ocorreu devido a ausência de alguns dados de pluviosidade e umidade relativa, o que inviabilizou a utilização dos períodos que foram excluídos devido às inconsistências.

2.3 Coleta dos dados EVI e processamento

As imagens EVI utilizadas possuem resolução espacial de 250 metros, radiométrica de 8 bits e temporal de 16 dias. Foram adquiridas do “Banco de dados temporal de imagens EVI do MODIS para o Espírito Santo” (RIBEIRO et al., 2006). Os dados multitemporais EVI foram coletados a partir de 100 pontos amostrais distribuídos aleatoriamente dentro das áreas em estudo, utilizando-se o valor médio desses para cada ponto da curva EVI, garantindo a não tendenciosidade da amostra, evitando a seleção de pontos pouco representativos das áreas em estudo.

2.4 Defasagem entre dados EVI e variáveis climáticas

Foram agrupados os dados climáticos de 16 em 16 dias, tomando-se a média desses, exceto para pluviosidade a qual se utilizou valor acumulado de 16 dias. Efetuou-se a sincronização entre os dados EVI que possuem resolução temporal de 16 dias. Com intuito de se avaliar qual o período em que os dados climáticos encontram-se melhor correlacionados aos valores de EVI, aplicou-se uma defasagem temporal entre ambos. Assim, os dados climáticos foram recomputados considerando-se 33 níveis diários de defasagem, de 0 a 32 dias (Figura 2).

2.5 Estudo das regressões lineares

Foram utilizados dados observacionais de EVI e variáveis climáticas, que variaram conforme a sazonalidade climática da região. Considerou-se que o EVI variava em função das variáveis climáticas aqui estudadas, numa relação causal entre essas e aquele, o que em verdade é uma simplificação da realidade necessária ao estudo aqui desenvolvido. Para avaliar-se o grau de interação entre as variáveis usou-se o coeficiente de correlação (R), gerando uma matriz de correlação entre as variáveis e o EVI. Para a avaliação dos modelos ajustados em regressão linear simples e múltipla, nos níveis de defasagem entre as variáveis, utilizou-se o coeficiente de determinação (R²).

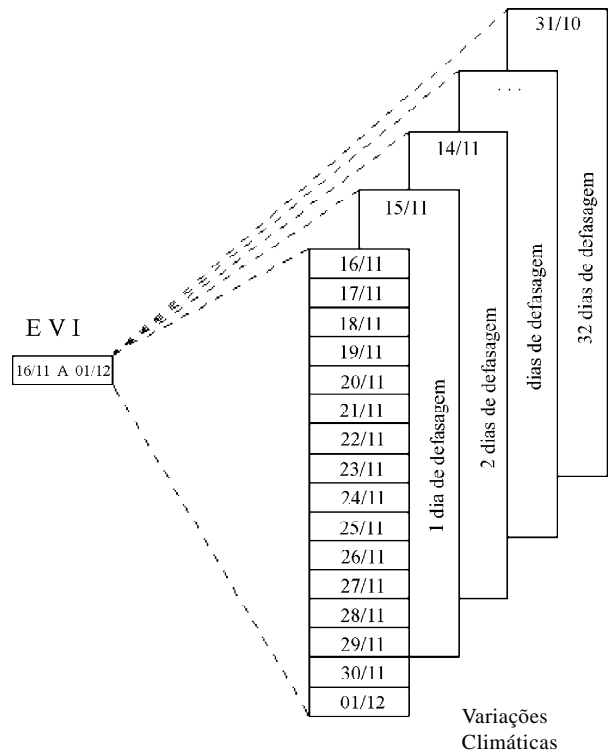


Figura 2 – Defasagem dos dados climáticos em relação aos dados EVI.

Figure 2 – Lag of the climatic data in relation to EVI data.

Através do método dos mínimos quadrados ordinários foram ajustados modelos lineares simples combinando-se as variáveis climáticas entre si e essas com o EVI, totalizando dez correlações possíveis. O coeficiente de correlação varia de -1 a 1 e quanto maior o coeficiente de correlação maior é a relação direta e proporcional existente entre a variável climatológica e o EVI, quando o coeficiente se apresenta positivo. Caso o valor seja negativo a relação mostra-se inversamente proporcional, e maior tanto quanto maior for o valor apresentado. Também foram ajustados todos os modelos lineares simples e múltiplos possíveis (equações 2, 3, 4 e 5).

$$\hat{Y} = a + b\hat{X}_1 + c\hat{X}_2 + d\hat{X}_3 + e\hat{X}_4 + \varepsilon \tag{2}$$

$$\hat{Y} = a + b\hat{X}_1 + c\hat{X}_2 + d\hat{X}_3 + \varepsilon \tag{3}$$

$$\hat{Y} = a + b\hat{X}_1 + c\hat{X}_2 + \varepsilon \tag{4}$$

$$\hat{Y} = a + b\hat{X}_1 + \varepsilon \tag{5}$$

Em que: \hat{Y} é o EVI; e X_1, X_2, X_3 e X_4 são as variáveis climáticas; a, b, c, d e e são os parâmetros dos modelos.

Para o modelo 2 existe uma única possibilidade de combinação das variáveis independentes; para o modelo 3, quatro combinações [EVI=f(T, UR PP); EVI=f(T, UR, FP); EVI=f(T, PP, FP) e EVI=f(UR, PP, FP)]; para o modelo 4, seis combinações [(EVI=f(T, UR), EVI=f(T, PP), EVI=f(T, FP), EVI=f(UR, PP), EVI=f(UR, FP) e EVI=f(PP, FP)]; e para o modelo 5, quatro combinações [EVI=f(T), EVI=f(UR), EVI=f(PP), EVI=f(FP)]. Assim o número total de modelos foi de 990. Os modelos foram avaliados em função do coeficiente de determinação múltiplo ($0 \leq R^2 \leq 1$) que expressa a porcentagem da variabilidade dos valores de EVI que é explicada pela variabilidade das variáveis independentes, constantes em cada modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Séries temporais dos dados climáticos

Foram geradas séries multitemporais para as variáveis climáticas envolvidas em ambos ambientes, exceto para o fotoperíodo que foi considerado idêntico

devido à proximidade entre os locais. As séries multitemporais apresentaram-se semelhantes à Figura 3.

3.2 Séries temporais de dados EVI

A média aritmética dos 100 pontos amostrais representa um único valor de EVI na série multitemporal, representado por um único ponto na curva. O período compreendido entre cada ponto da série EVI é de 16 dias, devido à resolução temporal do produto EVI adquirido. Dessa forma, obteve-se a série temporal EVI para os ambientes de floresta natural (Figura 4) e de cultivo agrícola.

Os valores encontrados para o EVI na floresta natural foram, em geral, maiores que os encontrados para o ambiente cultivo agrícola, fato explicado pelo maior índice de área foliar (IAF) e maior quantidade de biomassa verde na floresta natural. Os valores de EVI para floresta natural variaram com menor amplitude, em comparação ao cultivo agrícola que apresentaram acentuadas e bruscas variações (Figura 5).

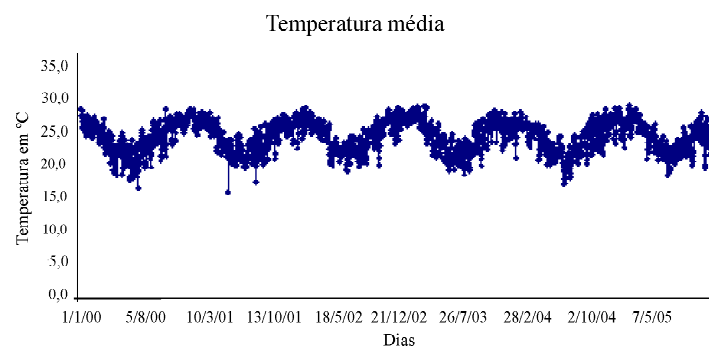


Figura 3 – Série temporal (2000_2005) de Temperatura média diária para o cultivo agrícola.

Figure 3 – Time series (2000_2005) of daily average Temperature for the cropping areas.

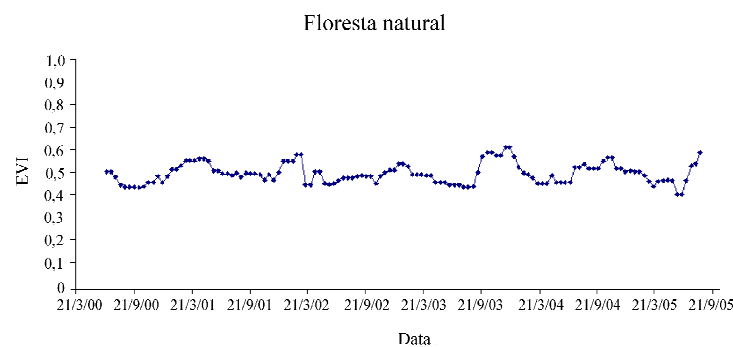


Figura 4 – Série temporal (2000_2005) do EVI obtida no ambiente floresta natural.

Figure 4 – Time series (2000_2005) of EVI for the natural forest.

3.3 Correlações entre as variáveis climáticas e o EVI nos diferentes níveis de defasagem

Para os modelos lineares simples, observaram-se correlações maiores entre EVI e fotoperíodo, quando se aplicou defasagem entre as variáveis. O valor de R^2 foi de 0,45 aos 18 dias de defasagem (Figura 6a) para floresta natural, enquanto que, no cultivo agrícola, o R^2 foi de 0,30 aos 32 dias de defasagem (Figura 6b).

A umidade relativa apresentou, em geral, as menores correlações. A variável temperatura e pluviosidade tenderam a apresentar menores correlações quando se utilizaram mais dias de defasagem.

Nos modelos de regressão múltipla $EVI=f(FP, PP)$ e $EVI=f(FP, UR)$, para o ambiente de mata foram encontradas as maiores correlações aos 10 e 20 dias, respectivamente, com R^2 de 0,46 para ambos os modelos. Enquanto no ambiente agrícola os modelos com maior correlação foram

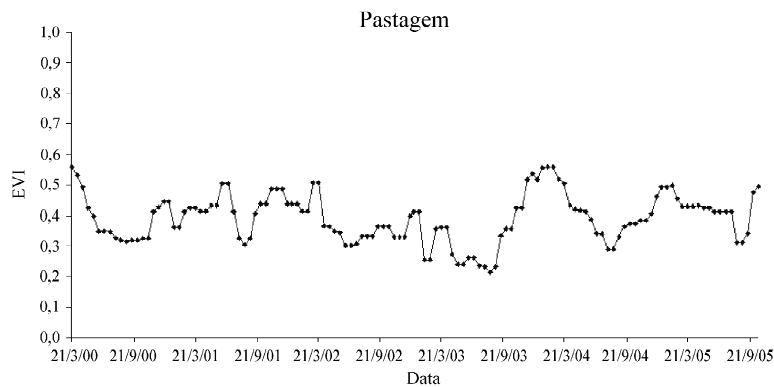


Figura 5 – Série temporal (2000_2005) do EVI obtida no cultivo agrícola.

Figure 5 – Time series (2000_2005) of EVI for the cropping areas.

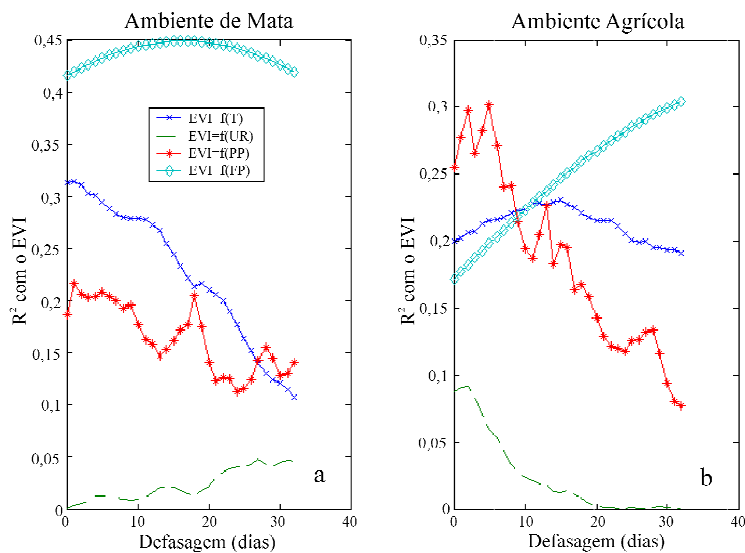


Figura 6 – Regressão linear simples, com até 32 dias de defasagem.

Figure 6 – Simple linear regression with up to 32 days of lag.

$EVI=f(T, UR)$ e $EVI=f(T, PP)$, com defasagem de 2 e 6 dias respectivamente, e R^2 de 0,42 para ambos os ambientes (Figura 7a e 7b). Indicando que o fotoperíodo influencia mais a floresta natural, enquanto a temperatura influencia mais o cultivo agrícola, quando se utilizam 2 variáveis independentes.

As três variáveis independentes que, em conjunto, mais se correlacionaram com o EVI foram; temperatura, umidade relativa e pluviosidade (T,UR,PP) que forneceram modelo com R^2 igual a 0,45, aos três dias de defasagem para o cultivo agrícola (Figura 8b). Para a floresta natural encontrou-se 0,49 para o R^2 aos 28 dias para as variáveis

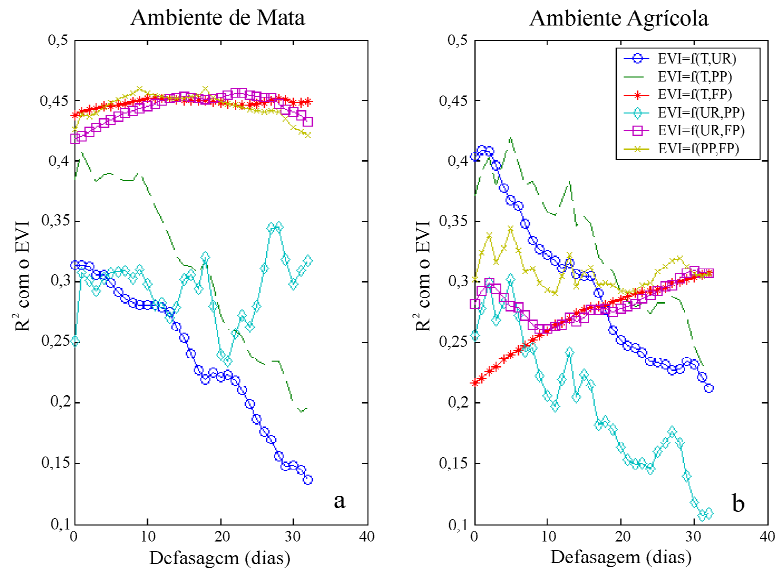


Figura 7 – Regressão linear múltipla (2 variáveis), com até 32 dias de defasagem.

Figure 7 – Multiple linear regression (2 variable), with up to 32 days of lag.

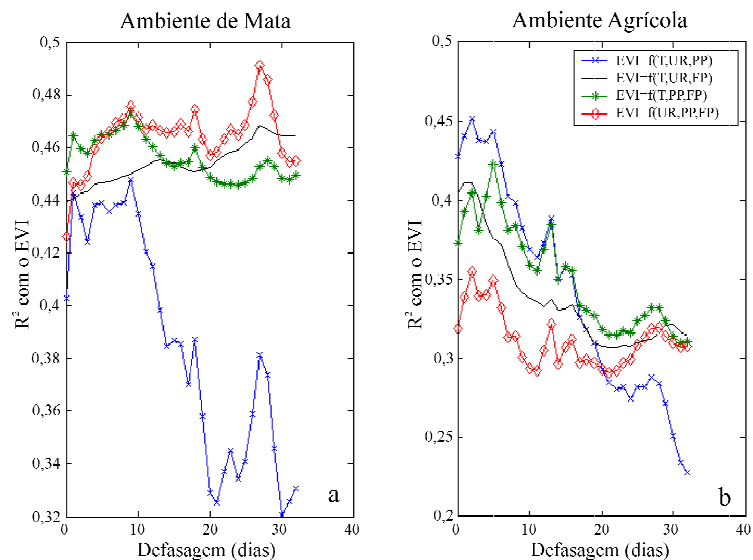


Figura 8 – Regressão linear múltipla (3 variáveis), com até 32 dias de defasagem.

Figure 8 – Multiple linear regression (3 variable), with up to 32 days of lag.

umidade relativa, pluviosidade e fotoperíodo (UR, PP, FP) (Figura 8a).

Essa tendência foi mantida quando se utilizaram as quatro variáveis independentes, resultando em um R^2 igual a 0,50 para floresta natural, aos 10 dias de defasagem (Figura 9a) e 0,45 para cultivo agrícola, aos 3 dias de defasagem (Figura 9b).

Os resultados demonstram que a utilização do fotoperíodo e da pluviosidade proporcionou estimativas de EVI semelhantes (0,46 aos 10 dias de defasagem) àquela encontrada utilizando-se as quatro variáveis independentes simultaneamente (0,50 aos 10 dias de defasagem) para floresta natural (Figura 9a). Para cultivo agrícola, a utilização da temperatura e umidade relativa proporcionou estimativas de EVI semelhantes (0,42, aos 2 dias de defasagem) àquela encontrada utilizando-se as quatro variáveis independentes simultaneamente (0,45 aos 3 dias de defasagem) para cultivo agrícola (Figura 9b).

De maneira geral, os maiores valores de R^2 foram obtidos com poucos dias de defasagem, exceto para os modelos que utilizaram fotoperíodo, para os quais se manteve uma tendência de aumento da correlação com o aumento da defasagem, tanto para floresta natural, quanto para cultivo agrícola. Isso fica ilustrado nos modelos $EVI=f(FP)$, $EVI=f(UR, FP)$ e $EVI=f(T, FP)$. Utilizando metodologia análoga e complementar à desenvolvida neste estudo, bons resultados no intuito de classificar a vegetação foram constatados por Chandrasekar et al. (2006), que estudando a relação entre pluviosidade e NDVI, com diferentes defasagens entre os dados, agrupou 12 diferentes áreas em 3 fitofisionomias. Gurgel et al. (2003), utilizando ainda análise de agrupamento, conseguiram

estimar a ocorrência de 9 distintas coberturas vegetais para o Brasil, de acordo com distribuição muito próxima às dos atuais biomas brasileiros.

4 CONCLUSÕES

A utilização do EVI como indicador da biomassa verde é viável, sobretudo quando se determina e utiliza, posteriormente, a defasagem temporal entre variáveis climáticas e máximo valor de EVI. O uso de variáveis, desconsideradas em outros estudos, como fotoperíodo e umidade relativa, é útil quando se pretende aumentar a capacidade preditiva dos modelos de regressão linear. A sazonalidade climática constatada por este estudo, analisada em conjunto com dados multitemporais EVI permite afirmar que o acúmulo de biomassa verde (representada pelos valores máximos encontrados nas séries EVI) está relativamente sincronizado com as variáveis climáticas, havendo maior acúmulo durante o verão e caducifolia durante o inverno.

A metodologia desenvolvida neste estudo pode ser aplicada também com intuito de obter-se a classificação da cobertura vegetal, através da constatação de diferentes defasagens entre dados climáticos e EVI, nas diferentes fitofisionomias.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 18, n. 15, p. 3195-3210, 1997.

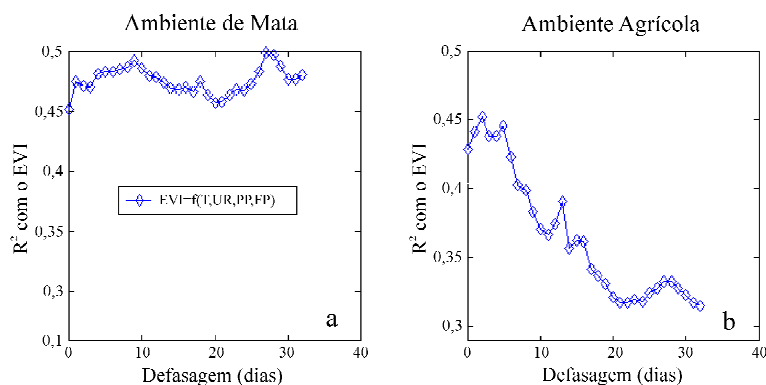


Figura 9 – Modelo de regressão linear múltipla (4 variáveis), com até 32 dias de defasagem.

Figure 9 – Model of multiple linear regression (4 variable), with up to 32 days of lag.

- BRAGA, C. C.; BRITO, J. I. B.; SANSIGOLO, C. A.; RAO, T. V. R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 149-157, 2003.
- CHANDRASEKAR, K.; SETHA SAI, M. V. R.; JEYASEELAN, A. T.; DWIVEDI, R. S.; ROY, P. S. Vegetation response to rainfall as monitored by NOAA-AVHRR. **Current Science**, v. 91, n. 12, Dec. 2006.
- GATES, D. M.; KEEGAN, J. H.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, p. 11-20, 1965.
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.
- HUETE, A. R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y. E.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophys. Research Letters**, v. 33, n. L06405, 2006.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 539 p.
- LEE, R.; YU, F.; PRICE, K. P. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A simple potencial vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SIB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 203-216, 2004.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- RIBEIRO, C. A. R.; PAIVA, Y. G.; FERREIRA, D. S.; XAVIER, A. C. Banco de dados temporal de imagens EVI do MODIS para o Espírito Santo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 2006, São José dos Campos, SP. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, 2006. CD-ROM.
- WANG, P.; YAN, K.; SUN, W.; LI, X.; WANG, J. Using crop simulation model to study the time lag between precipitation and NDVI and its effect on NDVI based agricultural applications. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2004. **Proceedings...** 2004. CD-ROM.
- ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H.; HODGES, J. C. F.; GAO, F.; REED, B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003.