

Contribuições do solo e dossel em modelo de estimativa de biomassa aérea no Bioma Pampa

Fabrcio da Silva Terra⁽¹⁾, Eliana Lima da Fonseca⁽²⁾ e Dejanira Luderitz Saldanha⁽²⁾

⁽¹⁾Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciênciã do Solo, Avenida Pádua Dias, nº 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: fsterra@esalq.usp.br ⁽²⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Avenida Bento Gonçalves, nº 9.500, Caixa Postal 15044, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: eliana.fonseca@ufrgs.br, dejanira.saldanha@ufrgs.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho preditivo do submodelo espectral do modelo JONG, com a inserção de variáveis espectrais que considerassem a densidade de biomassa do dossel e as contribuições dos diferentes solos subjacentes. Índices calculados pela diferença e razão simples – entre as bandas 4 e 3, 4 e 5, 4 e 7, do sensor orbital ETM+/Landsat 7 – foram sugeridos para representar a contribuição espectral dos solos subjacentes e a influência das diferenças estruturais dos dosséis. A parametrização da componente espectral foi implementada por regressão linear múltipla e, em seguida, foi comparada aos dados de biomassa obtidos em campo. As variáveis espectrais que melhor expressaram as variações da disponibilidade inicial de forragem foram a fração solo (modelo linear de mistura espectral) e a razão entre as bandas 4 e 7. A componente espectral do modelo JONG, com a nova parametrização, apresenta sensibilidade para eliminar as influências do solo e dossel na disponibilidade inicial de biomassa e facilita a interpretação dos resultados, em razão da relação entre as variáveis espectrais selecionadas.

Termos para indexação: disponibilidade de forragem, Landsat, modelo agrometeorológico-espectral, variáveis espectrais.

Soil and canopy contributions in a predictive model of aerial biomass in the Pampa Biome

Abstract – The objective of this work was to evaluate the predictive performance of the JONG model's spectral submodel, with the insertion of variables considering contributions of different underlying soils and canopy densities. Indices calculated by subtraction and simple ratio between 4 and 3, 4 and 5, 4 and 7 bands, of Landsat 7/ETM+ sensor – were suggested in order to represent the spectral contribution of the different underlying soils and the influence of canopy structural differences. The spectral component parameterization was implemented by multiple linear regression and, then, it was compared to the biomass data measured in the field. Spectral variables that better describe the variations of initial biomass availability and soil spectral contributions were the soil fraction (spectral mixture linear model), and ratio between 4 and 7 bands. The spectral component of the JONG model, with the new parameterization, showed sensibility in eliminating the canopy and soil influences in the biomass initial availability and, also, improved the interpretation of results due to the relationship between selected spectral variables.

Index terms: forage availability, Landsat, agrometeorological-spectral model, spectral variables.

Introdução

Modelos agrometeorológicos relacionam variáveis climáticas (radiação solar, precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) com processos fisiológicos das plantas (fotossíntese, respiração e evapotranspiração), por meio de relações empíricas para estimar a produção vegetal. A incorporação de informações espectrais nesses modelos compõe um novo tipo de modelo,

chamado de agrometeorológico-espectral (Melo et al., 2008). Nesses modelos, a componente espectral pode ser utilizada para monitoramento, análise qualitativa da vegetação e como indicativo das condições de sanidade vegetal, por meio de informações espectrais obtidas em campo ou por imagens de satélite (Rizzi & Rudorff, 2007).

Para estimar a disponibilidade e o acúmulo de forragem em uma unidade homogênea do Bioma Pampa, Fonseca et al. (2007b) desenvolveram um modelo

agrometeorológico-espectral denominado JONG, que agrega informações agrometeorológicas, fisiologia vegetal e comportamento espectral da vegetação campestre estudada, representado pela equação,

$$DF_n = VE_0 + (\varepsilon_{CA} \sum_{t=0}^n PAR) ETR/ETP,$$

em que: DF_n é a disponibilidade final de forragem; VE_0 é a componente espectral; ε_{CA} é a eficiência de conversão da radiação solar incidente em fitomassa aérea; PAR é a radiação fotossinteticamente ativa incidente; ETR e ETP são as evapotranspirações real e potencial, respectivamente; e t é o tempo de crescimento da vegetação, medido em número de dias (n).

No modelo JONG, o submodelo espectral (VE_0) estima a disponibilidade de forragem inicial da vegetação campestre natural (DF_{i0}), que também pode ser definida como a quantidade de biomassa aérea, na qual irão atuar os fatores que definem o crescimento da vegetação. Na parametrização desse submodelo, foram testadas diferentes variáveis espectrais (Fonseca et al., 2007a), tendo sido a própria parametrização definida a partir de um modelo de regressão linear múltiplo, que utilizou como variáveis independentes a reflectância espectral da banda 7 (B7) do sensor ETM+/Landsat e a imagem da componente Wetness, da transformação Tasseled Cap ($DF_{i0} = 8568 - 346.B7 - 75.Wetness$), que apresentou coeficiente de correlação múltiplo (R) de 0,52.

Durante a parametrização do submodelo espectral, as análises estatísticas permitiram concluir que, além do manejo da atividade pastoril, as características do solo subjacente também influenciaram diretamente a resposta espectral da vegetação (Fonseca et al., 2007a). Quando se considera que o sinal detectado pelo sensor orbital constitui-se da integração da resposta espectral de diferentes componentes, dentro de um mesmo pixel, e que a variação das proporções dos componentes pode influenciar na acurácia do modelo agrometeorológico-espectral, torna-se necessário investigar a contribuição do tipo de dossel e das características do solo subjacente que coexistem na geração dessas variáveis.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho preditivo do submodelo espectral do modelo JONG em uma nova parametrização com a inserção de novas variáveis espectrais que considerassem a densidade de biomassa do dossel e as contribuições dos diferentes solos subjacentes.

Material e Métodos

A área de estudo localiza-se nas regiões da Campanha e da Serra do Sudeste, na porção sul-sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, de 31°08' S a 31°52' S; e de 54°14' W a 53°16' W, que compreende os municípios de Aceguá, Hulha Negra, Candiota e Bagé, e estende-se por aproximadamente 610 mil hectares, com ocorrência significativa do Bioma Pampa. O relevo da região varia entre plano a suave ondulado. O clima, segundo a classificação Köppen, é subtropical (Cfa), e a temperatura média anual, no Município de Bagé, é de 17,9°C, a temperatura média, no mês mais frio (junho), é de 12,3°C, e no mês mais quente (janeiro) é de 24°C. A precipitação pluvial média anual é de 1.460 mm, com déficit hídrico climatológico frequentemente observado no período do verão.

Foram delimitadas 14 unidades amostrais, com área média de 1,6 ha cada, posicionadas no interior de piquetes que, à época da coleta de dados, estavam sob pastejo. Foi considerada a uniformidade da área com relação ao relevo e à composição florística. As coordenadas dos limites das unidades amostrais foram obtidas com o auxílio de um receptor de GPS, o que permitiu a posterior identificação delas nas imagens de satélite. As unidades amostrais estavam posicionadas sobre distintas classes de solo, descritas a seguir: as unidades 1, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 em Planossolo Háptico carbonático (SXk); as unidades 2, 5 e 6 em Planossolo Háptico eutrófico (SXE); e as unidades 3, 4, 7 e 8 em Chernossolo Ebânico órtico (MEo) (Santos et al., 2006).

As medições de biomassa foram realizadas em novembro de 2002 e janeiro de 2003, meses correspondentes ao pleno desenvolvimento vegetativo dos dosséis, para assegurar a uniformidade da vegetação quanto ao estágio fenológico e cobertura vegetal do solo. A composição florística das unidades amostrais apresentou basicamente um estrato contínuo de gramíneas forrageiras, cujas espécies mais comuns foram: *Paspalum notatum* (capim-forquilha) – de maior frequência (36,83%); e o *Axonopus affinis* (grama-tapete). Essas gramíneas estavam entremeadas por leguminosas, também forrageiras, das espécies *Adesmia bicolor* (babosa-do-campo) e *Trifolium polymorphum* (trevo nativo), entre outras espécies de menor frequência. Para a coleta das amostras de biomassa, foi utilizado um quadrado de ferro (gabarito) de 0,50 m de lado, que delimitava uma área

no terreno onde toda a vegetação seria cortada rente ao solo, com o auxílio de uma tesoura, conforme as indicações de Machado (1999). Os trabalhos para essas coletas tiveram duração de dois dias, a partir da data de passagem do satélite, com o objetivo de amostrar a disponibilidade de biomassa aérea, no momento da passagem do satélite sobre a área de estudos. As amostras de vegetação coletadas foram secas em estufas com circulação forçada de ar, a 70°C, por três dias, e foram posteriormente pesadas em uma balança de precisão, tendo-se obtido a quantidade de matéria seca em gramas por metro quadrado. A partir dessas amostras, foi calculada a média da biomassa por unidade amostral, em quilogramas de matéria seca por hectare.

Os dados espectrais referem-se às imagens do sensor ETM+/Landsat 7 de 19 de novembro de 2002 e 6 de janeiro de 2003, órbita/ponto 222/82. O processamento das imagens, para o cálculo das variáveis espectrais, seguiu a metodologia adotada por Fonseca et al. (2007b). As variáveis calculadas e testadas por esses autores também foram testadas neste trabalho e foram agrupadas em quatro conjuntos: a) reflectância das bandas individuais do sensor ETM+/ Landsat 7, no vermelho (B3), infravermelho próximo (B4) e de ondas curtas (B5 e B7); b) índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e ajustados para o solo (SAVI), calculados com quatro diferentes valores da variável L (1, 0,75, 0,5 e 0,25) (Huete, 1988); c) frações da reflectância obtidas pelo modelo linear de mistura espectral, relativas à vegetação, solo e sombra; e d) variáveis oriundas da transformação Tasseled Cap – brightness, greenness e wetness (Huang et al., 2002). Além dessas variáveis, neste trabalho, foram adicionados três novos conjuntos de variáveis, baseadas em funções de contraste, oriundas da combinação algébrica dos valores de reflectância das bandas originais: e) diferença da resposta espectral das bandas 4 e 3 (B4-B3), 4 e 5 (B4-B5), 4 e 7 (B4-B7); f) razão simples da resposta espectral das bandas 4 e 3 (B4/B3), 4 e 5 (B4/B5), 4 e 7 (B4/B7); e g) diferença normalizada pela soma das bandas 4 e 5 [(B4-B5)/(B4+B5)], 4 e 7 [(B4-B7)/(B4+B7)], 5 e 3 [(B5-B3)/(B5+B3)], 7 e 3 [(B7-B3)/(B7+B3)]. Esses índices foram sugeridos para se verificar sua eficiência em representar a contribuição espectral dos solos subjacentes e as diferenças estruturais dos dosséis.

As imagens de satélite foram submetidas ao processo de correção atmosférica, com uso do modelo de transferência radioativa MODTRAN 4 (Matthew et al., 2000), cujos valores foram transformados para reflectância de superfície. Detalhamento sobre a extração dos valores das imagens de satélite e sobre o cálculo das variáveis espectrais, descritas nos conjuntos mencionados anteriormente – (a, b, c, d) – bem como os valores delas estão disponibilizados em Fonseca (2004). Para o cálculo das variáveis descritas nos conjuntos e, f, g, foram utilizados os valores das bandas originais, manipulados em aplicativos de planilha eletrônica.

Em função da existência de duas datas para a coleta de dados e de quatorze unidades amostrais, para cada uma das 25 variáveis testadas houve 28 observações que foram utilizadas para o cálculo de uma nova parametrização do modelo de regressão linear múltiplo (submodelo espectral) que, no modelo JONG, estima a disponibilidade de forragem inicial, sobre a qual atuam os fatores agrometeorológicos que determinam o crescimento. Salienta-se que a disponibilidade de forragem foi tratada como a variável dependente, e as variáveis espectrais formaram o conjunto de variáveis independentes, apesar de a resposta espectral ser dependente da condição em que a vegetação se apresenta, no momento da aquisição da imagem pelo sensor orbital.

Para a seleção das variáveis espectrais, o modelo de regressão linear múltiplo foi ajustado por meio do método “stepwise”. Por esse método, as variáveis espectrais independentes foram integradas ao modelo para encontrar a melhor solução do teste F e minimizar a variância total da estimativa. Foi utilizado um nível de significância de 5%. Para testar diferentes formas de agrupamentos entre as variáveis espectrais, os dados foram agrupados em três conjuntos distintos, tendo-se considerado o significado físico associado à resposta espectral e o nível de processamento empregado, para a geração dos dados: conjunto A – bandas individuais + índices de vegetação + diferenças entre bandas + razões simples entre bandas + diferenças normalizadas; conjunto B – bandas individuais + variáveis fração + diferenças entre bandas + razões simples entre bandas + diferenças normalizadas; e conjunto C – todas as variáveis espectrais.

A validade da nova parametrização foi avaliada por meio da comparação dos valores estimados de disponibilidade inicial de forragem, com os valores

medidos em campo e com os valores estimados pela antiga parametrização. Para avaliar se a dependência dos valores estimados com o solo subjacente foi eliminada, procedeu-se à análise de resíduos em relação aos valores estimados de disponibilidade de forragem e aos valores das variáveis independentes utilizadas na parametrização.

Resultados e Discussão

Os três diferentes conjuntos de variáveis espectrais, testados para expressar a quantidade de biomassa aérea da vegetação campestre natural, no momento da passagem do satélite, resultaram em diferentes equações múltiplas. Isto mostra que algumas variáveis possuem maior correlação com a quantidade de biomassa medida em campo do que outras.

O resultado da análise do conjunto A de variáveis espectrais é apresentado na seguinte equação:

$$DF_{10} = -5880,91 + 1518,19 \cdot B5 - 3765,09 \cdot B4 / B3 + 12468,67 \cdot B4 / B7 + 181754,44 \cdot ND47 - 45829 \cdot ND53 + 239750,86 \cdot ND73 - 226590,64 \cdot SAVI_{0,25},$$

que apresentou coeficiente de correlação múltiplo (R) de 0,71 e erro médio de 8,83 kg ha⁻¹. Esta equação foi desconsiderada, pois apresenta tendências de superestimativa nas predições de biomassa, em função do valor do erro-médio. Além disso, o grande número de variáveis independentes dificulta a interpretação do significado físico, referente à contribuição de cada variável, em descrever a disponibilidade de biomassa de acordo com as mudanças nas características dos dosséis e solos subjacentes.

O resultado da análise do conjunto B de variáveis espectrais é apresentado na seguinte equação:

$$DF_{10} = 1842,77 + 6230,62 \cdot ND47 - 6912,94 \cdot SAVI_{0,25},$$

que obteve valor de R igual a 0,50 e erro-médio de 0,10 kg ha⁻¹. Esta equação tem a particularidade de a resposta espectral ser da banda 4, considerada duas vezes para estimar a disponibilidade de forragem inicial: na diferença normalizada entre as bandas 4 e 7 (ND47) e no índice de vegetação ajustado para o solo (SAVI), calculado com o fator L = 0,25. Sabe-se que a banda 4, posicionada na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (0,75–0,90 μm),

é fortemente influenciada pela estrutura do mesófilo das folhas, onde quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será a intensidade de energia refletida. Portanto, o sinal detectado será variável dependendo da quantidade de folhas saudas, presentes no momento da aquisição da imagem pelo sensor orbital (Xue & Yang, 2009), o que justifica a inclusão de duas variáveis espectrais que utilizam a resposta espectral da banda 4 na equação para cálculo de DF₁₀ para o conjunto A de variáveis. Essa dupla inclusão dificulta avaliar como a contribuição da biomassa de folhas é considerada em associação com a contribuição dos horizontes superficiais das diferentes classes de solo. A banda 3, também utilizada no cálculo do SAVI, posicionada na região do vermelho (0,63–0,69 μm), também responde à quantidade de biomassa da vegetação, principalmente a quantidade de pigmentos fotossintetizantes por unidade de área (Baranoski & Rokne, 2005). O SAVI $\{[(B4-B3)/(B4+B3+L)](1+L)\}$ foi proposto a partir do NDVI $[(B4-B3)/(B4+B3)]$, em que foi incluído o valor L, para diminuir a influência do solo na relação entre a resposta espectral da vegetação e a quantidade de biomassa (Huete, 1988). O valor L foi tabelado na proposição desse índice, de acordo com a quantidade de cobertura vegetal do solo e, dessa forma, não é capaz de representar as contribuições da resposta espectral oriundas das diferentes características dos solos. Por essa razão, essa equação não deve ser descartada totalmente, mas não será dada continuidade à sua análise neste trabalho.

Mesmo tendo apresentado pequena redução no valor do coeficiente de correlação múltiplo, optou-se por testar as estimativas de disponibilidade de forragem, feitas por meio da nova equação originada com os dados espectrais do conjunto C conforme a equação:

$$DF_{10} = -1911,98 + 650,77 \cdot B4 / B7 + 32,15 \cdot Solo.$$

Nesta equação, manteve-se a variável espectral (fração solo) e adicionou-se um dos índices sugeridos para representar a variação no comportamento espectral dos substratos, que relaciona e resume as bandas 4 e 7, as quais também eram utilizadas na parametrização original do modelo JONG (DF₁₀ = 8568-346,21. B7-75,85. Wetness). Ao compararmos as estimativas feitas com essa nova parametrização e os dados de disponibilidade de biomassa, medidos em campo, verificou-se um coeficiente de correlação linear múltiplo de 0,47 e erro-médio de 0,16 kg ha⁻¹. Estes

valores são considerados baixos em comparação aos trabalhos de Paruelo et al. (2000) e Kurtz et al. (2010). Os baixos valores de correlação encontrados justificam-se pelo delineamento experimental empregado no presente trabalho (amostragem multitemporal) que, diferentemente dos autores citados, utilizou amostras coletadas em datas distintas para estimar a disponibilidade de biomassa aérea de uma área experimental grande e com heterogeneidade na composição florística.

As variáveis espectrais independentes, selecionadas na equação com uso da fração solo, mostraram-se adequadas para explicar a disponibilidade de biomassa inicial dos diferentes níveis de cobertura dos dosséis, representados por essa fração, no modelo linear de mistura espectral, em que a contribuição do comportamento espectral dos solos subjacentes torna-se importante, à medida que os dosséis tendem a ficar esparsos. Nesse caso, as variações nos valores da fração solo determinam a densidade de biomassa e a estruturação do dossel. Para dosséis dominados pela fração vegetação, em que a participação do solo na composição espectral dos pixels é reduzida, a relação entre as bandas 4 e 7 expressa a condição inicial da vegetação, com relação à nutrição, sanidade e ao status hídrico. A alta reflectância dos dosséis, na região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho próximo (banda 4), resultou da interação da energia incidente com a estrutura celular das folhas, ou seja, quanto mais lacunosa a estrutura, maior a reflectância (Slaton et al., 2001; Serrano, 2008). Na região espectral correspondente ao infravermelho de ondas curtas (banda 7), a absorção decorrente do conteúdo de água das folhas influencia muito a reflectância espectral do dossel pois, quando diminui o conteúdo de umidade das folhas, aumenta a reflectância espectral nessa faixa do espectro (Ceccato et al., 2001; Gillon et al., 2004; Seelig et al., 2008). Em dosséis de baixa densidade, a razão entre as bandas selecionadas serve como indicador da contribuição espectral dos solos subjacentes nas variações de reflectância da cobertura vegetal, em que especificamente a banda 7 é fortemente afetada pela variabilidade espectral dos solos, governada pelas variações no conteúdo de matéria orgânica, granulometria e umidade (Demattê et al., 2005; Terra et al., 2009).

Assim, definiu-se a nova parametrização do submodelo espectral do modelo JONG (equação com uso da fração solo), que considerou a disponibilidade de biomassa em diferentes densidades de dossel e a contribuição espectral dos solos subjacentes, em função das variáveis espectrais selecionadas nessa nova parametrização. Na comparação das estimativas de disponibilidade de forragem inicial entre a parametrização antiga ($DF_{10}=8568-346,21.B7-75,85$. Wetness) e a nova parametrização, não se observaram tendências na distribuição dos pontos em relação à reta 1:1 (Figura 1). A 5% de significância obtiveram-se, entre essas duas estimativas, coeficiente de correlação linear (r) de 0,75, erro-médio de $0,18 \text{ kg ha}^{-1}$ e raiz quadrada do erro-médio ao quadrado (RMSE) de $74,41 \text{ kg ha}^{-1}$. Este resultado indica que a modificação do modelo JONG (JONG-M), obtida por meio da nova parametrização do submodelo espectral, pode substituir o modelo anterior sem alterar a eficiência e a qualidade dos valores de disponibilidade final de forragem estimados.

Ao se avaliar a distribuição dos resíduos das estimativas, em relação aos valores estimados (Figura 2 A) e aos valores das variáveis independentes consideradas na nova parametrização (Figuras 2 B e

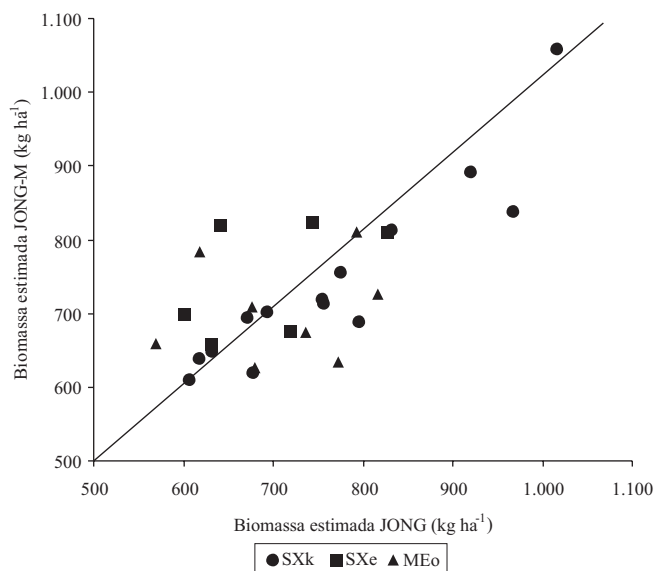


Figura 1. Comparação entre valores de disponibilidade inicial de forragem, estimados pelo submodelo espectral modificado (JONG-M) e pelo submodelo original (JONG), nos solos Planossolo Háptico carbonático (SXk), Planossolo Háptico eutrófico (SXe) e Chernossolo Ebânico órtico (MEo).

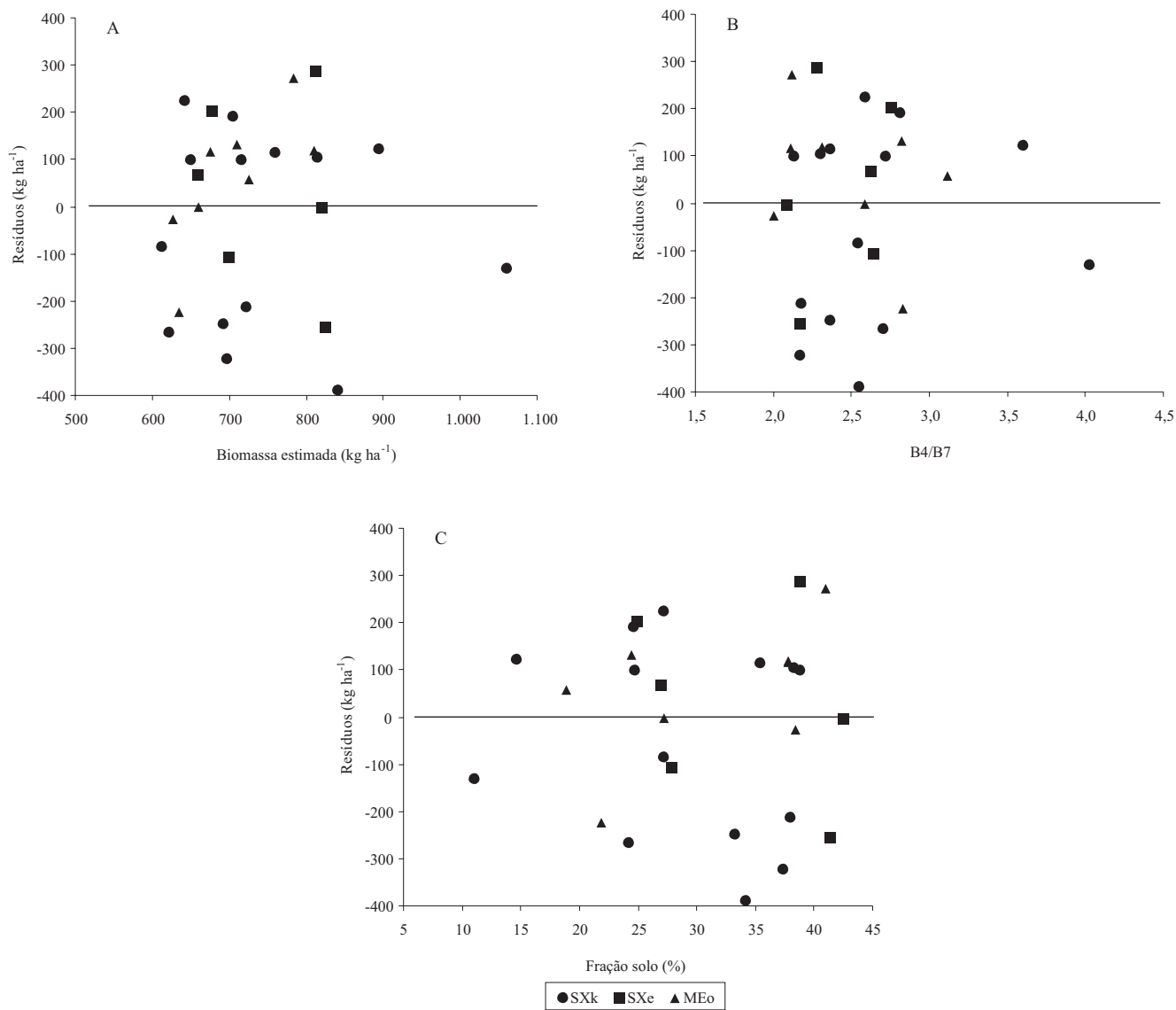


Figura 2. Análise dos resíduos das estimativas do submodelo espectral modificado (JONG-M), para os valores estimados de biomassa (A), para as variáveis B4/B7 (B), e para a fração solo (C), em Planossolo Háplico carbonático (SXk), Planossolo Háplico eutrófico (SXe), e Chernossolo Ebânico órtico (MEo).

2 C), não foram observadas tendências na distribuição dos valores, quando estes foram divididos tendendo-se considerado as diferentes classes de solos existentes na área de estudos. Isto mostra que a nova parametrização foi eficiente em eliminar, nas estimativas da disponibilidade inicial de biomassa, a contribuição espectral atribuída às variações nas características dos horizontes superficiais, das classes de solo consideradas, tais como granulometria, matéria orgânica e umidade.

Conclusões

1. Com a nova parametrização, o desempenho preditivo da componente espectral do modelo JONG não é afetado.
2. Com as novas variáveis independentes, a componente espectral do modelo JONG mostra-se eficiente na predição de biomassa aérea, em diferentes condições do dossel e sobre solos subjacentes com características superficiais distintas.

Referências

- BARANOSKI, G.V.G.; ROKNE, J.G. A practical approach for estimating the red edge position of plant leaf reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v.26, p.503-521, 2005.
- CECCATO P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JAQUEMOUD, S.; GRÉGOIRE J.-M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, v.77, p.22-23, 2001.
- DEMATTÊ, J.A.M.; MORETI, D.; VASCONCELOS, A.C.F. de; GENÚ, A.M. Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.697-706, 2005.
- FONSECA, E.L. da. **Desenvolvimento de um modelo da disponibilidade de fitomassa aérea para as formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos**. 2004. 181p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- FONSECA, E.L. da; FORMAGGIO, A.R.; PONZONI, F.J. Estimativa da disponibilidade de forragem do Bioma Campos Sulinos a partir de dados radiométricos: parametrização do submodelo espectral. **Ciência Rural**, v.37, p.1668-1674, 2007a.
- FONSECA, E.L. da; PONZONI, F.J.; FORMAGGIO, A.R. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da disponibilidade de forragem no Bioma “Campos Sulinos”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.15, p.241-249, 2007b.
- GILLON, D.; DAURIAC, F.; DESHAYES, M.; VALETTE, J.C.; MORO, C. Estimation of foliage moisture content using near infrared reflectance spectroscopy. **Agriculture and Forest Meteorology**, v.124, p.51-62, 2004.
- HUANG, C.; WYLIE, B.; YANG, L.; HOMER, C.; ZYLSTRA, G. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, p.1741-1748, 2002.
- HUETE, A.R. A Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.23, p.295-309, 1988.
- KURTZ, D.B.; SCHELLBERG, J.; BRAUN, M. Ground and satellite-based assessment of rangeland management in sub-tropical Argentina. **Applied Geography**, v.30, p.210-220, 2010.
- MACHADO, L.A.Z. **Manejo de pastagem nativo**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 156p.
- MATTHEW, M.W.; ADLER-GOLDEN, S.M.; BERK, A.; RICHTSMIEIER, S.C.; LEVINE, R.Y.; BERNSTEIN, L.S.; ACHARYA, P.K.; ANDERSON, G.B.; FELDE, G.W.; HOKE, M.P.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H.H.; KAISE, R.D.; MILLER, D.P. Status of atmospheric correction using a MODTRAN4-based algorithm. **Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, v.4049, p.199-207, 2000.
- MELO, R.W. de; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; DUCATI, J.R. An agrometeorological-spectral model to estimate soybean yield, applied to Southern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, p.4013-4028, 2008.
- PARUELO, J.M.; OESTERHELD, M.; DI BELLA, C.M.; ARZADUM, M.; LAFONTAINE, J.; CAHUEPÉ, M.; REBELLE, C.M. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. **Applied Vegetation Sciences**, v.3, p.189-195, 2000.
- RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agronômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.73-80, 2007.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SEELIG, H.-D.; HOEHN, A.; STODIESK, L.S.; KLAUS, D.M.; ADAMS III, W.W.; EMERY, W.J. The assessment of leaf water content using leaf reflectance ratios in the visible, near-, and short-wave infrared. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, p.3701-3713, 2008.
- SERRANO, L. Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, p.5265-5274, 2008.
- SLATON, M.R.; HUNT, E.R.; SMITH, W.K. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. **American Journal of Botany**, v.88, p.278-284, 2001.
- TERRA, F.S.; SALDANHA, D.L.; FONSECA, E.L. Contribuição espectral do solo nos índices de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p.3119-3126.
- XUE, L.; YANG, L.Z. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.64, p.97-106, 2009.

Recebido em 27 de novembro de 2009 e aprovado em 31 de março de 2010