

Influência da estrutura do dossel e contribuição do solo no modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produção de biomassa aérea

Fabício da Silva Terra¹
Eliana Lima da Fonseca²
Dejanira Luderitz Saldanha²

¹Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP
Caixa Postal 9 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil
fsterra@esalq.usp.br

²Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento e Meteorologia - CEPARM/UFRGS
Caixa Postal 15044 - 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil
eliana.fonseca@ufrgs.br

Abstract. The aim of this work was to evaluate the spectral component sensibility, of the JONG model (Fonseca, 2004), in front of soil spectral contribution under estimated biomass. Thus, it was included others spectral variables sensible to the canopy and ground albedo variations, and not considered in the previous study. The study area belongs to the Pampa Biome that occurs in the portion south of the Rio Grande do Sul State. New spectral component parameterization was determined and the efficiency of the new variables to represent the soil participation in the spectral component was investigated. Spectral variables that better expressed the variations of initial biomass availability and the spectral contributions of soils were: the soil fraction from spectral mixture linear model and indices related to the spectral bands sensible to the ground brightness variations.

Palavras-chave: agrometeorological-spectral model, spectral variables, biomass, modelo agrometeorológico-espectral, variáveis espectrais, biomassa.

1. Introdução

O modelo agrometeorológico-espectral JONG (José Otávio Neto Gonçalves) foi desenvolvido com o intuito de estimar a disponibilidade e o acúmulo de forragem de uma unidade homogênea do Bioma Pampa (Fonseca, 2004), para tanto se agregou conhecimentos de agrometeorologia, fisiologia vegetal e comportamento espectral da vegetação.

A componente agrometeorológica deste modelo relaciona variáveis meteorológicas (radiação solar, precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) com processos fisiológicos das plantas (fotossíntese, respiração e evapotranspiração), enquanto que a componente espectral indica a condição inicial da vegetação, sobre a qual agem os fatores agrometeorológicos atuantes no sistema solo-planta-atmosfera e que definem o crescimento vegetal (Rudorff e Batista, 1990; Fontana, 1995 e Melo, 2003). O modelo é representado na Equação 1.

$$DF_n = (VE_0 + \varepsilon_{CA} \cdot \sum_{t=0}^n PAR) \cdot ETR / ETP \quad (1)$$

Onde, 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 medido em dias.

Na parametrização do componente espectral, Fonseca (2004) testou as seguintes variáveis espectrais: bandas 3, 4, 5 e 7 do sensor ETM+/Landsat 7; diferenças normalizadas (ND) entre estas bandas (Elvidge e Lyon, 1985); índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e ajustado ao solo (SAVI) (Huete et al., 1985); variáveis oriundas da transformação Tasseled Cap (Brighness, Greenness, Wetness) (Crist e Cicone, 1984) e as variáveis fração do Modelo Linear de Mistura Espectral (fração vegetação, fração solo e fração sombra) (Shimabukuro e Smith, 1991). Destas, concluiu que as variáveis espectrais mais eficientes em representar a condição inicial da vegetação foram: as bandas 3 e 7 e a componente Wetness.

As análises estatísticas correspondentes à esta parametrização permitiram concluir que além do manejo da atividade pastoril, o tipo de solo subjacente também influenciou diretamente a resposta espectral da vegetação (Fonseca et al., 2005).

Sendo assim, baseado na hipótese de que o sinal detectado pelo sensor orbital constitui-se de uma integração de diferentes componentes existentes dentro do alvo imageado e que a variação desses influencia na acurácia da componente espectral e por consequência na resposta do modelo, torna-se necessário investigar a contribuição do tipo de dossel e do substrato adjacente que coexistem na geração da variável espectral.

Portanto, o objetivo do trabalho é avaliar a contribuição do solo e dossel na componente espectral do modelo JONG através da inclusão de novas variáveis espectrais sensíveis às variações dos substratos e densidade de dossel, e não consideradas no estudo de Fonseca (2004).

2. Metodologia de trabalho

A área de estudo localiza-se na porção sul sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 31°08'51.93"S e 31°52'15.53"S e longitudes 54°14'46.55"W e 53°16'7.75"W, coincidente com a utilizada no trabalho de Fonseca (2004), estendendo-se por aproximadamente 610.000 hectares e apresentando ocorrência significativa do Bioma Pampa.

Utilizaram-se quatorze (14) pontos de amostragem para seleção das variáveis espectrais e informações de biomassa inicial. Foram utilizadas imagens do sensor ETM+/Landsat 7 referentes aos meses de novembro de 2002 e janeiro de 2003, correspondentes ao pleno desenvolvimento vegetativo dos dosséis e assegurando a uniformidade da vegetação quanto ao estágio fenológico e cobertura vegetal do solo. As classes de solo dos pontos amostrados foram: Argissolo Vermelho Distrófico (PVd), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd), Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk), Planossolo Háptico Carbonático (SXk), Planossolo Háptico Eutrófico (SXe), Neossolo Litólico Distrófico (RLd), Vertissolo Ebânico Carbonático (VEk) (EMBRAPA, 2006).

Os dados de campo, correspondentes aos valores de disponibilidade inicial de biomassa, e as variáveis espectrais usadas foram as mesmas utilizadas por Fonseca (2004), adicionadas à essas últimas foram utilizados índices calculados pela diferença e razão simples entre as bandas 4 e 3, 4 e 5, 4 e 7 (Tabela 1), sugeridos a fim de verificar a eficiência na representação da contribuição espectral dos solos adjacentes e das diferenças estruturais nos dosséis.

Para selecionar as variáveis espectrais adicionadas à componente espectral do modelo JONG, uma regressão linear múltipla foi ajustada através do método “Stepwise”, onde estas foram integradas ao modelo buscando encontrar o melhor valor do teste F, minimizando a variância total da estimativa, a um nível de significância de 5%.

Para testar diferentes formas de agrupamentos entre os dados de entrada no modelo de regressão, as variáveis espectrais foram agrupados em três conjuntos distintos: conjunto A (bandas + índices de vegetação + diferença normalizada + diferença e razão simples), conjunto B (bandas + variáveis fração + diferença e razão simples) e conjunto C (todas as variáveis espectrais).

Definida a equação preditora da disponibilidade inicial de forragem com a inserção das variáveis espectrais, obtendo-se assim uma nova parametrização da componente espectral do modelo JONG, a qualidade dessa foi avaliada através do gráfico da disponibilidade de forragem estimada pela equação selecionada versus a disponibilidade observada no campo sobre os pontos de amostragem.

A nova equação da componente espectral, que considera a contribuição de brilho dos diferentes substratos e as variações estruturais de dossel, foi integrada à componente agrometeorológica para utilização no cálculo da disponibilidade final de forragem acumulada num período de tempo determinado, conforme a Equação 1.

As estimativas de disponibilidade final de biomassa com a nova parametrização da componente espectral foram comparadas com os valores de acúmulo de forragem estimados pelo modelo JONG original.

Tabela 1. Variáveis espectrais e dados de biomassa nos pontos de amostragem para os meses de novembro e janeiro.

Variáveis espectrais	Pontos de amostragem													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Novembro 2002													
Banda 3 (%)	7,1	7,3	7,3	7,1	7,1	7,5	7,0	6,9	6,2	6,3	6,7	7,1	6,9	7,1
Banda 4 (%)	34,1	34,3	33,9	34,2	33,9	34,2	29,5	30,8	34,0	34,8	31,2	31,7	31,6	31,8
Banda 5 (%)	29,8	31,4	30,5	29,5	29,9	31,0	28,1	28,4	28,3	28,5	26,4	29,1	28,1	28,7
Banda 7 (%)	14,8	16,4	16,0	14,8	14,9	15,8	14,8	14,6	14,4	13,7	13,2	14,9	14,6	14,6
B4/B3	4,8	4,7	4,6	4,8	4,8	4,6	4,2	4,4	5,5	5,5	4,7	4,5	4,6	4,5
B4/B5	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
B4/B7	2,3	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2	2,0	2,1	2,4	2,6	2,4	2,1	2,2	2,2
B4-B3	26,9	27,0	26,6	27,1	26,8	26,7	22,5	23,8	27,8	28,5	24,5	24,5	24,6	24,8
B4-B5	4,2	2,9	3,4	4,7	4,0	3,1	1,4	2,4	5,7	6,3	4,9	2,6	3,5	3,1
B4-B7	19,2	18,0	17,9	19,4	19,0	18,4	14,8	16,2	19,6	21,1	18,0	16,8	17,0	17,2
NDVI	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
ND45	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
ND47	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ND53	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
ND73	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
SAVI 0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
SAVI 0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
SAVI 0,75	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
SAVI 1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Fração Solo(%)	38,5	42,5	41,0	37,8	38,7	41,3	38,5	37,8	35,3	34,1	33,2	38,7	37,3	37,9
Fração Sombra(%)	18,0	14,2	16,1	17,0	17,1	15,1	25,9	23,5	18,6	17,5	25,5	21,4	22,6	21,7
Fração Vegetação(%)	43,5	43,3	42,9	45,2	44,2	43,6	35,6	38,7	46	48,4	41,3	39,9	40,1	40,4
Brightness	100	104	102	103	100	103	91	93	97	99	91	95	95	95
Greenness	131	129	129	133	131	130	124	126	133	135	129	127	127	128
Wetness	34	30	32	35	34	31	37	37	37	38	42	35	38	36
Biomassa (kg/ha)	706	802	513	691	522	1078	653	558	641	1226	937	614	1016	933
	Janeiro 2003													
Banda 3 (%)	6,5	7,1	6,7	6,7	6,5	6,9	5,9	5,5	4,9	4,7	6,6	6,8	6,4	6,8
Banda 4 (%)	41,1	41,8	40,8	41,6	39,9	40,2	38,1	40,1	43,2	44,3	38,4	38,7	39,8	39,3
Banda 5 (%)	29,7	31,3	30,5	29,7	29,4	30,3	27,4	26,8	26,2	25,0	28,3	29,8	29,0	30,0
Banda 7 (%)	14,7	15,9	15,6	14,7	14,5	15,3	13,5	12,8	12,0	11,0	14,2	15,2	14,7	15,2
B4/B3	6,3	5,9	6,1	6,2	6,2	5,9	6,5	7,2	8,8	9,5	5,9	5,7	6,2	5,8
B4/B5	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,4	1,3
B4/B7	2,8	2,6	2,6	2,8	2,8	2,6	2,8	3,1	3,6	4,0	2,7	2,5	2,7	2,6
B4-B3	34,6	34,7	34,1	34,9	33,5	33,4	32,2	34,5	38,3	39,7	31,8	31,9	33,4	32,6

B4-B5	11,5	10,6	10,3	11,8	10,5	9,9	10,7	13,2	17,0	19,3	10,1	8,9	10,8	9,3
B4-B7	26,5	26,0	25,1	26,8	25,4	24,9	24,7	27,2	31,2	33,3	24,2	23,4	25,2	24,1
NDVI	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
ND45	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
ND47	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4
ND53	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
ND73	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
SAVI 0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
SAVI 0,25	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
SAVI 0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
SAVI 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5
Fração Solo(%)	24,6	27,8	27,2	24,5	24,8	26,9	21,9	18,9	14,6	11,0	24,1	27,1	24,7	27,1
Fração Sombra(%)	9,7	6,7	9,1	9,1	11,8	10,2	16,9	14,6	11,0	10,8	15,1	13,1	12,2	11,9
Fração Vegetação(%)	65,7	65,5	63,7	66,4	63,4	62,9	61,2	66,5	74,4	78,2	60,8	59,8	63,1	61,0
Brightness	114	118	115	115	111	113	104	107	110	111	107	110	111	111
Greenness	143	142	141	144	141	141	141	145	153	156	139	138	141	139
Wetness	37	33	34	37	37	35	41	44	46	49	39	35	38	35
Biomassa (kg/ha)	511	806	641	579	474	592	858	667	774	1189	886	695	547	414

3. Resultados e Discussão

As variáveis espectrais usadas na estimativa da disponibilidade inicial de forragem, selecionadas pelo modelo de regressão linear múltiplo entre as variáveis originais testadas por Fonseca (2004) e os índices sugeridos, são apresentadas na forma de equações lineares para cada um dos conjuntos de dados espectrais testados (Tabela 2). Observa-se a inserção de novas variáveis espectrais independentes, dentre elas as sugeridas para representar a variação no comportamento espectral dos substratos.

Tabela 2. Equações lineares e valores do coeficiente de correlação (R) resultantes do modelo de regressão múltipla.

Conjuntos	Equações - variáveis sugeridas	R
A	$DF_{t0} = -5880,91 + 1518,19B5 - 3765,09B4/B3 + 12468,67B4/B7 + 181754,44ND47 - 145829ND53 + 239750,86ND73 - 226590,64SAVI0,25$	0,71
B	$DF_{t0} = 1842,77 + 6230,62.ND47 - 6912,94.SAVI0,25$	0,50
C	$DF_{t0} = - 1911,98 + 650,77.B4/B7 + 32,15.Solo$	0,47
Conjuntos	Equações - variáveis originais (Fonseca, 2004)	R
A	$DF_{t0} = 1988,45 - 173,75.B7 + 191,56.B3$	0,49
B	$DF_{t0} = 8568,53 - 346,21.B7 - 75,85.Wetness$	0,52
C	$DF_{t0} = 1275,96 - 182,45.B7 + 29,96.Solo + 32,45.B4$	0,55

Mesmo apresentado os melhores valores para os coeficientes de correlação (R), as novas equações representativas dos conjuntos A e B (Tabela 2) foram desconsideradas pelos seguintes motivos: número elevado de variáveis espectrais selecionadas pelo modelo de regressão (Equação A), o que dificulta a interpretação detalhada da variabilidade dos valores estimados de biomassa, e por desconsiderar as variáveis originais (Equação B), o que não cumpri com o objetivo do trabalho que é avaliar o desempenho do modelo JONG com a inserção de novos índices representativos da variação espectral dos substratos em conjunto com as variáveis anteriormente testadas.

Ainda que com uma pequena redução no valor do coeficiente R quando comparado à equação original, optou-se por testar as estimativas feitas através da nova Equação C (Tabela 2), já que se manteve a variável fração solo e inseriu-se um dos índices sugeridos que relaciona e resume as bandas 4 e 7. O baixo coeficiente de correlação (0,47), em relação a alguns trabalhos encontrados na literatura (Gamon et al., 1995; Paruelo et al., 2000) deve-se ao delineamento experimental utilizado com datas de coletas de campo coincidentes com a passagem do satélite, buscando uma maior heterogeneidade do sistema.

A Equação C mostrara-se apta a explicar a disponibilidade de biomassa inicial para os diferentes níveis de cobertura dos dosséis, onde a contribuição do comportamento espectral dos solos torna-se importante à medida que os dosséis tendem a ficar esparsos, neste caso as variações nos valores da fração solo determinam o grau de fechamento e estruturação do dossel.

A relação entre as bandas 4 e 7 expressa a condição inicial da vegetação com relação à nutrição, sanidade e ao status hídrico para dosséis dominados pela fração vegetação em que a participação do solo na composição do pixel é reduzida.

A alta reflectância dos dosséis na região do infravermelho próximo (banda 4) é resultado da interação da energia incidente com a estrutura celular das folhas, quanto mais lacunosa a estrutura, maior a reflectância. No infravermelho médio (banda 7), a absorção de energia é atribuída ao conteúdo de água das folhas, quando diminui a umidade aumenta a reflectância espectral nessa região (Jensen, 2000; Ponzoni, 2001).

Para dosséis em que a participação da fração solo é significativa na formação da reflectância, a razão entre as bandas selecionadas serve como um indicador da contribuição dos solos nas variações dos valores de reflectância da vegetação sobre os diferentes substratos, visto que especificamente a banda 7 é fortemente afetada pela variabilidade espectral dos solos (Huete et al., 1985).

Na relação entre os valores de disponibilidade de forragem medidos em campo e os estimados pela Equação C observa-se uma correlação direta (Figura 1), apesar dos baixos valores biomassa medidos em campo estarem superestimados e os altos valores subestimados. O motivo da compactação nos valores estimados devesse a inexistência de uma relação linear entre a radiância medida pelo sensor na região do infravermelho próximo e os valores de biomassa. Nesta região do espectro, a reflectância é resultante de um processo de espalhamento intra e entrefoliar adicionado ao sombreamento entre os elementos da própria vegetação (galho, folhas, etc.) e ao efeito da participação do solo (Ponzoni, 2000), refletindo assim a complexidade da interação da radiação eletromagnética com o dossel.

A integração da componente espectral, representada pela Equação C, à agrometeorológica definindo assim o novo “Modelo JONG modificado” é representada pela Equação 2.

$$\Delta DF = ((-1911,98 + 650,77.B4 / B7 + 32,15.Solo) + \varepsilon_{CA} \cdot \sum_{t=0}^n PAR) \cdot ETR / ETP \quad (2)$$

Resultante da comparação entre as estimativas de biomassa final obtidas pelo modelo modificado (Equação 2) e pelo modelo JONG original, que adota como componente espectral a Equação B (Tabela 2) considerada válida por Fonseca (2004), o coeficiente de correlação (0,80) indica que através da nova parametrização da componente espectral, a Equação 2 pôde substituir o modelo original sem alterar a eficiência e a qualidade das estimativas de biomassa final (Figura 2). Ainda, o novo modelo considera a disponibilidade de biomassa em diferentes condições de dossel e a contribuição do comportamento espectral dos solos subjacentes devido às variáveis espectrais incorporadas.

De maneira geral, observa-se uma correspondência entre as estimativas de biomassa final, exceto por alguns valores superestimados e outros subestimados pelo modelo modificado (Figura 2), isso se deve ao fato das variáveis selecionadas no modelo JONG original representarem as condições iniciais da vegetação de forma adequada, mas não terem sensibilidade suficiente para considerar os efeitos e a contribuição do solo na resposta espectral da vegetação.

Uma avaliação mais eficiente dos valores de biomassa final estimados pelo modelo modificado poderia ser realizada através da comparação desses com os valores medidos em campo. Porém, os dados de campo correspondentes ao final do tempo de simulação do modelo não foram coletados, pois a área não era exclusiva da pesquisa e estava sendo utilizada sob o sistema de pastejo.

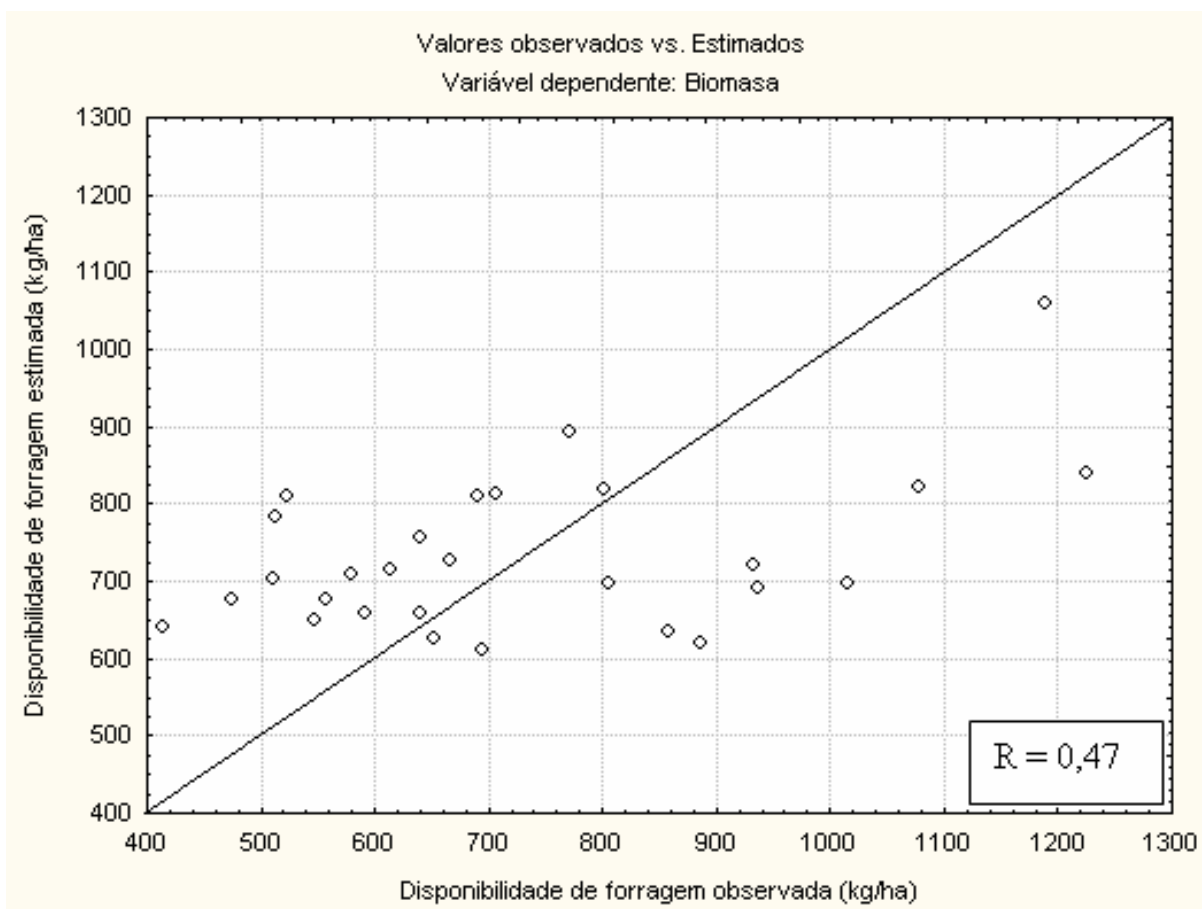


Figura 1. Relação entre os valores de disponibilidade de forragem medidos em campo e os estimados pela Equação C.

4. Conclusões

A complexidade da interação entre radiação eletromagnética e o sistema solo-planta, existente no dossel, torna-se um obstáculo na elaboração de modelos de produtividade que utilizam dados espectrais orbitais como estimadores da disponibilidade inicial de forragem, confirmado a hipótese deste trabalho.

Com a nova parametrização da componente espectral, em função das variáveis selecionadas, a Equação C apresenta maior sensibilidade que a componente espectral anterior (Equação B), em representar a variabilidade espacial da disponibilidade inicial de forragem provocada tanto por

deficiência nas condições de nutrição, sanidade e status hídrico das plantas, quanto pelas variações no comportamento espectral dos solos que contribuem com valores de reflectância para a cobertura vegetal.

Os novos parâmetros da componente espectral facilitam a interpretação dos resultados obtidos pelo modelo modificado devido à relação entre variáveis espectrais selecionadas e as diferentes condições do dossel.

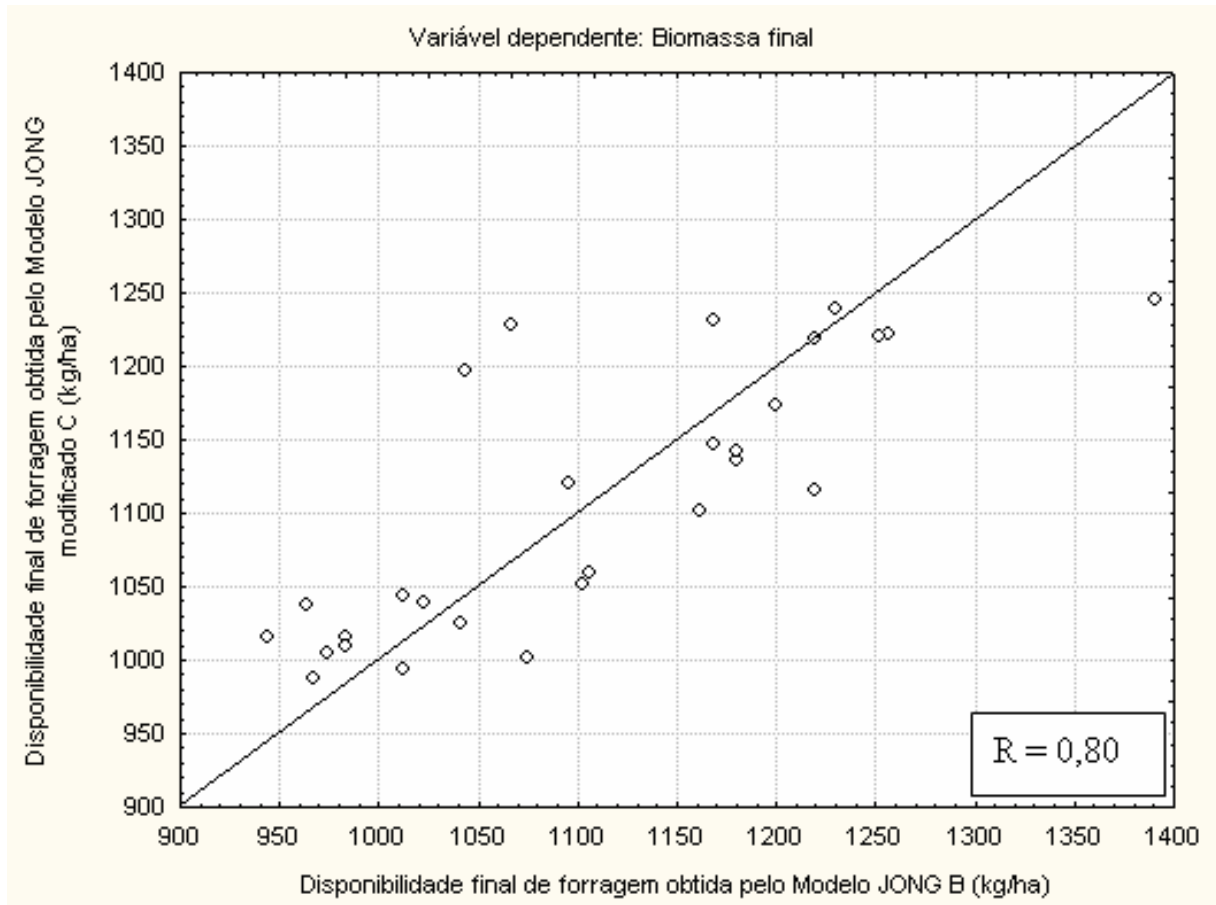


Figura 2. Relação entre os valores de biomassa final estimados pelo modelo JONG modificado (Equação C) e pelo modelo JONG original (Equação B – variáveis originais).

Referências Bibliográficas

Crist, E. P.; Cicone, R. C. A physically-based transformation of thematic mapper data – The TM tasseled cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. GE-22, n. 3, p. 256-263, 1984.

Elvidge, C. D.; Lyon, R. J. P. Influence of rock-soil spectra variation on the assessment of green biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 265-279, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

Fonseca, E. L. **Desenvolvimento de um modelo da disponibilidade de fitomassa aérea para as formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos**. 2004. 181 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Fonseca, E. L.; Formaggio, A. R.; Ponzoni, F. J. Parametrização do modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produção das pastagens do bioma Campos Sulinos (RS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 127-134 CD-ROM, On-line, ISBN 85-1700018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2005/02.12.16.31>>. Acesso em: nov. 2006.

Fontana, D. C. **Índice de vegetação global para o monitoramento da vegetação e sua correlação com elementos agrometeorológicos e rendimento de grãos de soja**. 1995. 133 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia-Agrometeorologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1995.

Gamon, J. A.; Field, C. B.; Goulden, M. L.; Griffin, K. L.; Hartley, A. E.; Joel, G.; Peñuelas, J.; VALENTINI, R. Relationships between NDVI, canopy structure and photosynthesis in three californian vegetation types. **Ecological Applications**, v. 5, n. 1, p. 28-41, 1995.

Huete, A. R.; Jackson R. D.; Post, D. F. Spectra response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 37-53, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2004. **Mapas de vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em nov. 2006.

Jensen J. R. **REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT an Earth Resource Perspective**. New Jersey: Prentice Hall, 2000. 544p.

Melo, R. W. **Desenvolvimento de um modelo agrometeorológico espectral de estimativa do rendimento de soja para o estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia-Agrometeorologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

Nabinger, C.; de Moraes, A.; Maraschin, G. E. Campos in southern Brazil. In: Lealire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Carvalho, P. C.F.; Nabinger, C. (ed.) **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Cambridge: CABI Publishing, 2000. cap. 18, p.355-376.

Paruelo, J. M.; Oesterheld, M.; Di-Bella, C. M.; Arzadum, M.; Lafontaine, J.; Cahuep, M.; Rebelle, C. M. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. **Applied Vegetation Sciences**, v. 3, n. 2, p. 189-195, 2000.

Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, Planaltina, Embrapa Cerrados, 2001. 262 p. Cap. 5, p. 157-199.

Rudorff, B. F. T.; Batista, G. T. Yield estimation of sugarcane base on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, n. 3, p. 183-192, 1990.

Shimabukuru, E. Y.; Smith, A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.