

Avaliação do modelo de mistura espectral com múltiplos componentes (MESMA) na discriminação de diferentes condições de cobertura em pastagens

Sandra Furlan Nogueira¹
Gustavo Bayma-Silva¹
Gustavo Pavan Mateus²
Daniel de Castro Victoria¹
Ricardo Guimarães Andrade¹
João José Assumpção de Abreu Demarchi³

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, 13070-115 Campinas, SP.
{sandra.nogueira, gustavo.bayma, daniel.victoria, ricardo.andrade}@embrapa.br

² Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios Regional Extremo Oeste - APTA
Estrada Vicinal Nemazião de Souza Pereira, km 6, Andradina, SP
gpmateus@apta.sp.gov.br

³ Instituto de Zootecnia - IZ
Rua Heitor Penteado, 56, 13460-000 Nova Odessa, SP
demarchi@iz.sp.gov.br

Abstract. The objectives of this work were: i) evaluate multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA) potential on discrimination of coverage pastures conditions (well-managed pastures (A), moderated degradation (B) and degraded pastures (C)) applied in medium spatial resolution image, ii) verify if *in situ* pastures coverage metrics were able to discriminate different pre-established pastures conditions (A, B e C), and iii) evaluate the possibility to use *in situ* coverage pasture metrics as calibration and / or ground truth information. The study area was located at Andradina, São Paulo State. MESMA values were derived from a LISS-III/ Resourcesat-1 image from November 14, 2012. MESMA analysis parameters were bare soil, dry and green vegetation and shade fractions. *In situ* landscape parameters estimated bare soil, dry and green vegetation and weeds proportions. Only green vegetation image-fraction, derived from MESMA, allowed discriminating A-pasture from the others (B and C), both in *Brachiaria Brizantha* as in *B. decumbens*. *In situ* evaluation discriminated *Brachiaria Brizantha* (A, B and C) conditions using the follow parameters: green and dry vegetation coverage. In *Brachiaria decumbens* pasture, conditions A and B did not differ, with distinct patterns only for pasture C. *In situ* information helped to explain MESMA results, although without agreement between the observed coverage percentages.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, cattle ranching, sensoriamento remoto, processamento de imagens, pecuária.

1. Introdução

O estado de São Paulo possui cerca de 4 milhões de hectares de pastagens cultivadas, sendo que desta área, pelo menos 10% apresentam algum grau de degradação (IBGE, 2014). Segundo Rudorff et al (2010), entre os anos de 2003 e 2008, ocorreu uma expansão da área cultivada de cana-de-açúcar de 2,6 milhões de hectares para 4,4 milhões de hectares, sendo que no ano safra 2008/09, metade ocorreu em áreas de pastagens e outra metade em áreas de culturas anuais. Vale ressaltar que a maioria das áreas cultivadas com culturas anuais, anteriormente haviam sido pastagens. Essas informações mostram uma tendência de diminuição das áreas de pastagens no Estado de São Paulo e uma incerteza se isso ocorre em virtude de sua má qualidade. Neste caso, torna-se imprescindível obter informações espacialmente explícitas sobre a qualidade das pastagens, que poderão ser aplicadas tanto em tomadas de decisões visando a produção sustentável nessas áreas, bem como na produção de

cenários sobre a dinâmica de mudança do uso da terra que considerem o fator risco econômico (i.e. custo da recuperação das pastagens) como dado de entrada.

Diante da ausência de dados atuais sobre a espacialização e qualificação das pastagens cultivadas no estado de São Paulo, o projeto “Desenvolvimento de Geotecnologias para Identificação e Monitoramento de Níveis de Degradação em Pastagens – GeoDegrade” vem explorando métodos em sensoriamento remoto e geoprocessamento para esse objetivo (www.geodegrade.cnpm.embrapa.br).

Desta forma, os objetivos deste trabalho foram: (a) avaliar o potencial do modelo de mistura espectral com múltiplos componentes (*multiple endmember spectral mixture analysis* - MESMA) para discriminar as condições de cobertura em pastagens (pastagens bem manejadas - A, pastagens em degradação - B e pastagens degradadas- C) a partir de imagens de média resolução espacial; (b) verificar se as métricas de caracterização das pastagens *in situ*, através da percepção humana, foram realmente capazes de discriminar as diferentes condições de pastagens pré-estabelecidas (A, B e C) e (c) avaliar a possibilidade de utilizar a caracterização de pastagens *in situ* como calibração e/ou verdade de campo.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A área escolhida como área de estudo foi o Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios (PRDTA) do Extremo Oeste (Figura 1), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), órgão da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo. A fazenda localiza-se no município de Andradina-SP (20° 50' 35"S; 51° 21' 28"W), bioma Mata Atlântica e possui classificação climática, segundo Köppen, do tipo Aw, ou seja, tropical chuvoso com inverno seco. O solo que predomina na região é o Latossolo Vermelho Amarelo.

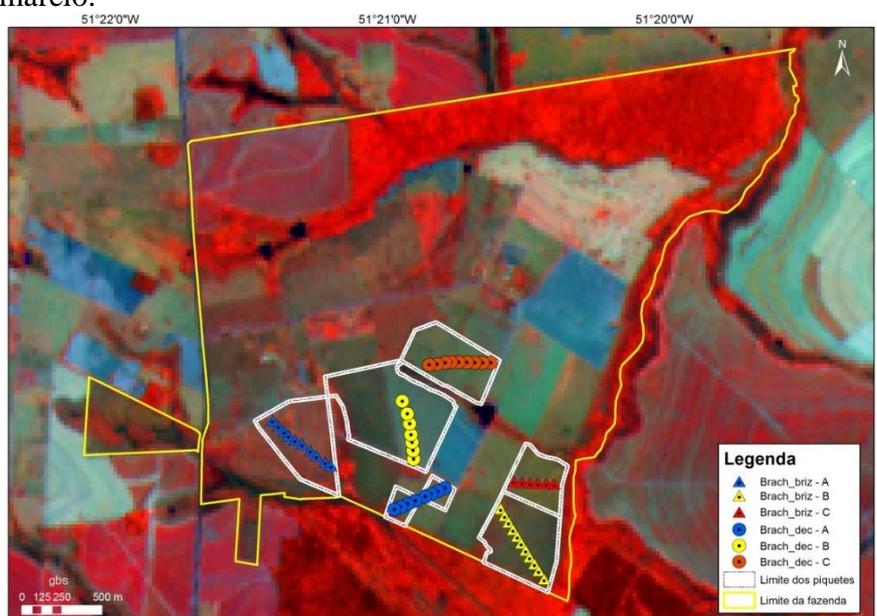


Figura 1. Imagem do satélite LISS-III/ Resourcesat-1, composição R(4) G(3) B(2), de 14/11/2011 com os limites do Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios (PRDTA) do Extremo Oeste, localizado em Andradina-SP.

2.2 Métricas obtidas *in situ*

As pastagens escolhidas para obtenção de métricas de suas coberturas foram definidas através da avaliação técnica do gestor da fazenda. As condições de cobertura pré-estabelecidas foram: pastagem bem manejada (A), pastagem em degradação (B) e pastagem

degradada (C). Para cada grupo de condições, foram escolhidas duas espécies de forragens: *Brachiaria brizantha* (Brach_briz) e *Brachiaria decumbens* (Brach_dec).

A campanha de campo, conduzida em 16/11/2012, percorreu as pastagens escolhidas através de um transecto, como apresentado na Figura 1. A cada 50 metros de distância, quatro quadrantes de 2,5 m² foram caracterizados. Os parâmetros avaliados foram: porcentagem de solo descoberto, de cobertura com vegetação seca, de cobertura com vegetação verde e cobertura com plantas daninhas. Essas informações foram adquiridas por meio de observações visuais. Detalhes sobre o método de campo podem ser obtidos em Nogueira et al (2012).

2.3 Dados de sensores remotos

A imagem de média resolução obtida corresponde a uma imagem do satélite LISS-III/ Resourcesat-1 de 14/11/2012. Este sensor apresenta resolução espacial de 23,5m e temporal de 24 dias. Opera em quatro faixas espectrais de forma semelhante às faixas do satélite Landsat (Chander, 2007), sendo: verde, 0,52 a 0,59 µm; vermelho, 0,62 a 0,68 µm; infravermelho próximo (IVP), 0,77 a 0,86 µm; e infravermelho médio (IVM), 1,55 a 1,70 µm.

A imagem foi adquirida no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e, posteriormente, georreferenciada utilizando como referência uma imagem Geoeye-1 previamente ortorretificada. Por meio do método de pontos homólogos nas duas imagens (Silva et al., 2012), polinômios de primeiro grau foram utilizados no registro da imagem com valores de RMS inferiores à 0,8 pixel.

2.4 Mistura espectral

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) estima as radiâncias parciais dos alvos presentes na formação da radiância que caracterizará o pixel (Shimabukuro e Smith, 1991). Além disto, gera imagens sintéticas que representam as proporções de cada componente da mistura dentro dos pixels. O número de bandas é reduzido para o número de componentes do modelo de mistura, o que classifica o modelo como um método que reduz o volume dos dados. O modelo de mistura espectral pode ser escrito como:

$$r_i = a * veg_i + b * solo_i + c * agua_i + e_i \quad (1)$$

onde, r_i é a resposta do pixel na banda i ; a = proporção de vegetação; b = proporção de solo; c = proporção de sombra ou água; veg_i = resposta espectral do componente vegetação na banda i ; $solo_i$ = resposta espectral do componente solo na banda i ; $agua_i$ = resposta espectral do componente sombra ou água na banda i ; e e_i = erro na banda i .

A metodologia do MESMA consiste na construção de uma grande biblioteca espectral, seleção *endmembers* para compilação da biblioteca espectral final e cálculo das imagens-fração. Diferentemente do MLME, permite que o número de *endmembers* varie na modelagem do pixel, considera a variabilidade espectral da componente, e testa diferentes modelos para cada pixel da imagem. Permite também utilizar quatro *endmembers*. Os *endmembers* mais adequados são indicados após serem avaliados como aqueles que modelam o maior número de *endmembers* dentro de sua classe (Countbased Endmember Selection - CoB) (Roberts et al., 2003); possuem a menor média do ângulo espectral (Minimum Average Spectral Angle – MASA) (Dennison, 2004), e produzem o menor erro médio quadrático (RMSE) dentro de uma classe (Endmember Average RMSE – EAR) (Dennison, 2003).

O algoritmo do MESMA está disponível no aplicativo *Viper Tools*, desenvolvido em linguagem IDL com interface disponível no programa ENVI (Roberts et al., 2007). Nesta ferramenta, a componente sombra é calculada pela diferença entre o somatório definido pelo usuário e os valores das outras componentes, dispensando o usuário da seleção de *endmembers* desta componente. As restrições utilizadas neste trabalho foram o somatório das componentes (vegetação verde, vegetação seca, solo e sombra) igual a um e erro RMSE de inferior a 0,025. A biblioteca espectral escolhida para cálculo dos modelos pode ser observada na Figura 2.

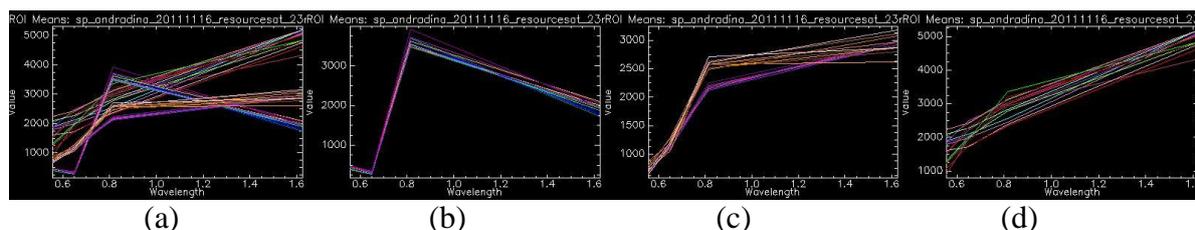


Figura 2. Visualização de todos os *endmembers* selecionados para geração dos modelos (a); somente os *endmembers* da vegetação verde (b); vegetação seca (c); e solo (d).

As amostras foram obtidas aleatoriamente dentro de cada piquete avaliado, sendo descartadas aquelas com distância inferior a cinco metros das cercas, para minimizar o efeito de borda. As informações das componentes do MEMSA foram extraídas no ENVI e exportadas no formato *ASCII* para as análises estatísticas.

2.5 Interpretação dos resultados

Para o tratamento estatístico dos dados amostrais empregou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis ANOVA (StatSoft, 2014). Este procedimento promove a ordenação dos valores de todos os tratamentos e estabelece a posição (*ranks*) dos valores individuais. Desse modo, as medianas dos parâmetros são adotadas como critério de comparação. Com base nos p-valores do teste Kruskal-Wallis e na soma dos *ranks*, cada parâmetro obtido pelo MESMA ou *in situ* foram comparados entre as condições de pastagens avaliadas (A, B e C). O teste Kruskal-Wallis ANOVA foi utilizado porque, após a aplicação do teste de Shapiro-Wilk, não foi observada normalidade dos dados.

3. Resultados e discussão

O número de espectros para composição da biblioteca espectral foram seis para cada componente (vegetação verde, vegetação seca e solo), totalizando 216 modelos. Destes, 180 atenderam as restrições de somatório dos *endmembers* e valor do erro RMSE adotados. A porcentagem de pixel não classificados foi de 3% do total da imagem, ou seja, em 3% da imagem não foi possível a modelagem com três componentes.

Com relação às comparações realizadas, observou-se que os testes Kruskal-Wallis ANOVA foram significativos (p-valores <0,0001) e que, portanto, todos os grupos de dados para cada parâmetro (dados do MESMA e *in situ*) se apresentaram distintos em relação à cada condição de cobertura das pastagens (A, B e C). Na Tabela 1 são apresentados os p-valores na comparação do mesmo parâmetro para cada condição de pastagem. Para a apresentação dos resultados optou-se pelo formato Boxplot, com médias, erros e desvios padrões (Figura 3 e 4).

Tabela 1. Valor p ajustado do teste de *rankings* (Kruskal Wallis ANOVA, 95% de confiança) para os parâmetros do MESMA e dados *in situ* e diferentes condições de pastagens

		A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
		<i>Brachiaria brizantha</i>			<i>Brachiaria decumbens</i>		
MESMA	Fração solo	0,006	0,101	1,000	1,000	0,103	0,2551
	Fração veg_seca	0,905	1,000	0,601	1,000	1,000	1,000
	Fração veg_verde	0,000	0,000	0,237	0,000	0,002	1,000
	Fração sombra	0,000	0,636	0,000	0,000	1,000	0,000
In situ	Solo descoberto	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Vegetação seca	0,002	0,000	0,000	1,000	0,001	0,001
	Vegetação verde	0,000	0,000	0,000	1,000	0,001	0,001
	Plantas daninhas	0,102	0,000	0,000	1,000	0,007	0,007

Diferenças significativas para $p < 0,05$.

3.1 Caracterização da cobertura em pastos de *Brachiaria brizantha*

As informações obtidas a partir da aplicação do MESMA mostraram diferenças significativas entre os pastos bem manejado (A), em degradação (B) e degradado (C) para as frações solo, veg_verde e sombra. O pasto bem manejado apresentou menor porcentagem de fração solo (17%) do que o pasto em degradação (29%), não diferindo, contudo, do pasto degradado (25%) (Figura 3a). As plantas invasoras, em maior quantidade no pasto degradado (Figura 3f), contribuíram para a maior cobertura do solo.

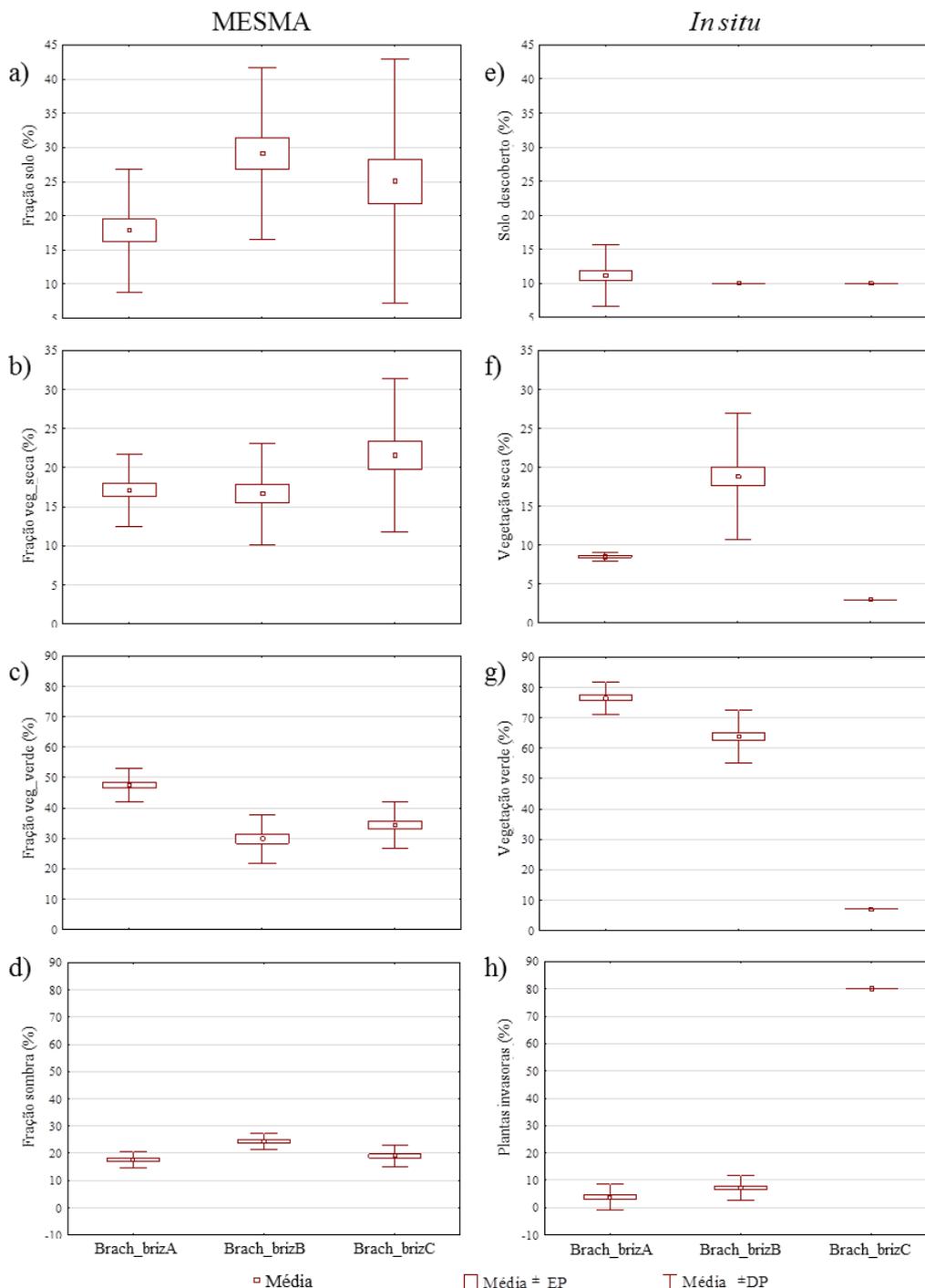


Figura 3. Frações de solo (a), vegetação seca (b), vegetação verde (c) e sombra (d) a partir do modelo MESMA e dados observados in situ, porcentagens de solo descoberto (e), vegetação seca (f), vegetação verde (g) e plantas invasoras (h) nas situações de pasto bem manejado (Brach_brizA), em degradação (Brach_brizB) e degradado (Brach_brizC).

O pasto manejado apresentou maior valor de fração *veg_verde*, cerca de 47%, enquanto que os pastos em degradação e degradado, apresentaram valores similares, 30 e 34% respectivamente (Figura 3c). O maior valor de fração *sombra* foi observado no pasto em degradação, 24%, enquanto que os pastos bem manejado e degradado apresentaram 17 e 19%, respectivamente (Figura 3d). Apesar dos dados *in situ* mostrarem que grande parte da área do pasto degradado estava coberto por plantas invasoras, cerca de 80% (Figura 3h), as espécies de plantas invasoras neste pasto eram de pequeno porte, explicando a baixa fração *sombra*.

Com relação aos dados *in situ*, os pastos foram diferentes entre si em termos de cobertura por vegetação seca (pastos A, 9%; B, 19%; e C, 3%) (Figura 3f) e vegetação verde (pastos A, 77%; B, 64%; e C, 7%) (Figura 3g). Em termos de cobertura por plantas daninhas, o pasto degradado diferiu dos demais, com 80% de sua cobertura composta por plantas invasoras (Figura 3h).

As informações obtidas *in situ* possuem pouca ou nula concordância com os valores numéricos obtidos pela MESMA. Este resultado pode ser explicado pela escolha do método de obtenção de informações no campo e pela resolução espacial da imagem Resourcesat, disponibilizando ~ 900 m² de área por pixel.

Inicialmente, no planejamento das ações, foi levado em consideração que a percepção humana sobre valores de porcentagens de cobertura podia ser questionável, tanto pela qualificação do especialista como pela posição de visada. Contudo, o maior problema observado na avaliação dos resultados foi que as informações sobre as variáveis da cobertura vegetal seca e verde focaram essencialmente a forrageira de interesse e não a cobertura total da pastagem. Por outro lado, as observações de campo que identificaram as espécies daninhas foram bastante úteis para explicar os resultados da fração *sombra*.

Neste estudo de caso, na avaliação dos dados orbitais dos pastos de *Brachiaria brizantha*, o pasto bem manejado caracterizou-se por apresentar maior proporção de vegetação verde, enquanto que os pastos em degradação e degradado não apresentam um padrão singular que os diferenciasse. As caracterizações das condições das pastagens no campo ajudaram a explicar os resultados obtidos no MESMA e apresentaram padrões que diferenciaram preferencialmente o pasto bem manejado do pasto degradado.

3.2 Caracterização da cobertura vegetal em pastos de *Brachiaria decumbens*

A *Brachiaria decumbens* apresenta características morfológicas distintas da *Brachiaria brizanta*. Enquanto a primeira espécie caracteriza-se por apresentar touceira decumbente, ou seja, prostrada, altura variando entre 0,3 e 0,9m, a segunda possui touceira quase ereta, altura de até 1,5m. Essa diferença na estrutura da cobertura vegetal pode ser uma das explicações sobre o comportamento verificado nos resultados das imagens-fração para as três condições de cobertura referente às pastagens de *Brachiaria decumbens*, principalmente quando não se observa diferenças na fração solo (Figura 4a).

Apenas nas frações *veg_verde* e *sombra* foi possível identificar diferenças entre as pastagens de *Brachiaria decumbens*. O pasto bem manejado apresentou maior porcentagem de *veg_verde*, cerca de 32%, do que os pastos em degradação e degradados com uma média de 24% (Figura 4c). No caso da fração *sombra*, o pasto em degradação contou com 26% de *sombra* enquanto as demais situações apresentaram 19% em média (Figura 4d).

Os dados *in situ* por sua vez mostraram diferenças para as porcentagens de vegetação seca, vegetação verde e plantas invasoras. Diferente da análise anterior, apenas o pasto degradado diferiu dos demais. Apresentou menor proporção de vegetação seca, 22%, enquanto os demais apresentaram 24% (Figura 4f); menor valor de vegetação verde, 51%, com relação ao valor de 56% dos pastos A e B (Figura 4g); e maior quantidade de plantas daninhas, 17%, em relação aos pastos A e B, 10% (Figura 4h).

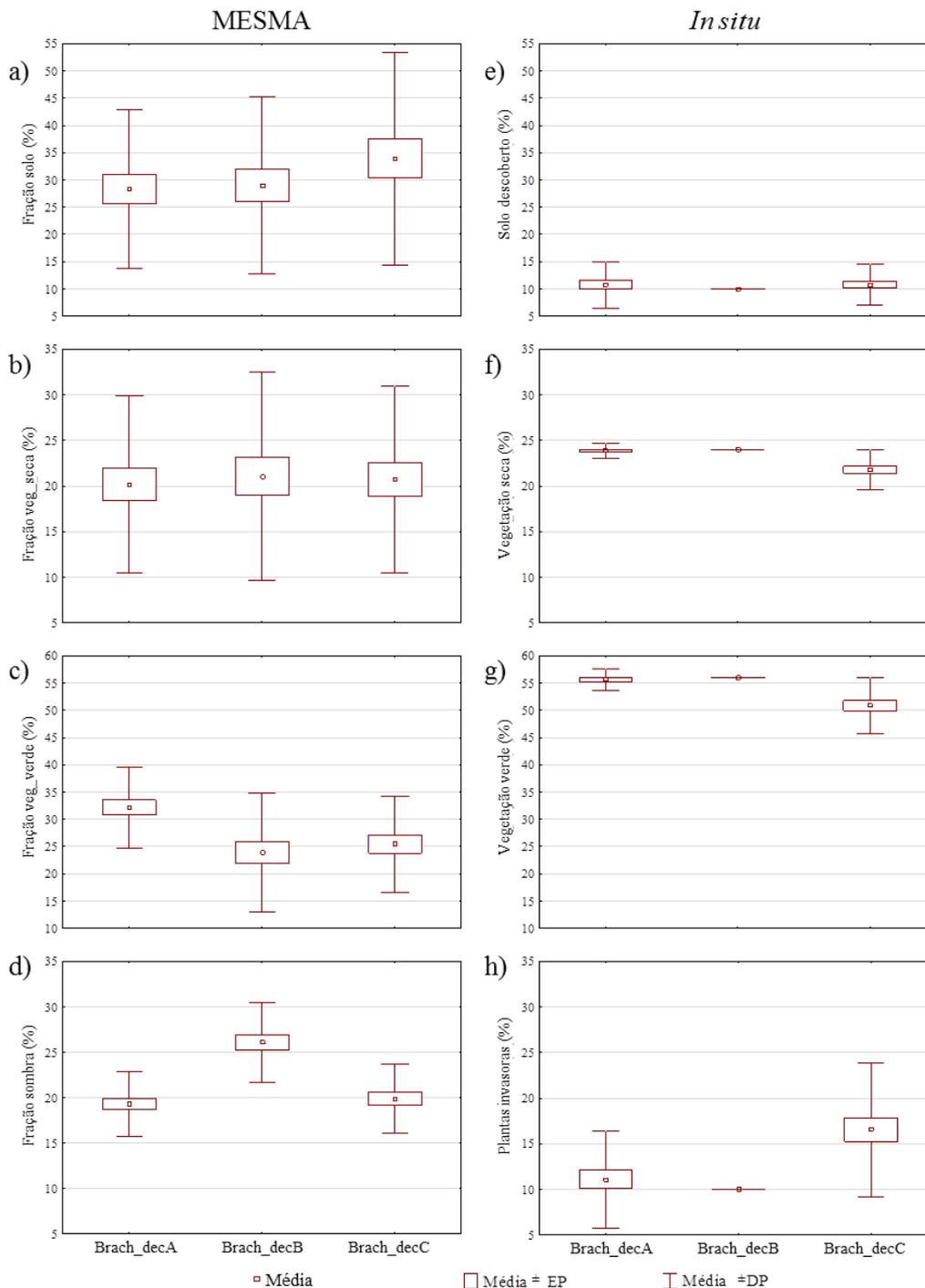


Figura 4. Frações de solo (a), vegetação seca (b), vegetação verde (c) e sombra (d) a partir do modelo MESMA e dados observados in situ, porcentagens de solo descoberto (e), vegetação seca (f), vegetação verde (g) e plantas invasoras (h) nas situações de pasto bem manejado (Brach_decA), em degradação (Brach_decB) e degradado (Brach_decC).

4. Conclusões

Apenas a fração vegetação verde (veg_verde) derivada do MESMA possibilitou discriminar, tanto na *Brachiaria brizantha* quanto na *Brachiaria decumbens*, o pasto bem manejado das demais pastagens. Para avaliações a partir do MESMA, as maiores interferências foram a estrutura do capim e as espécies de plantas invasoras.

A discriminação visual das pastagens (*in situ*) possibilitou a diferenciação das 3 condições de cobertura das pastagens de *Brachiaria brizantha* através dos parâmetros coberturas de vegetação verde e seca. No caso das pastagens de *Brachiaria decumbens*, as condições A e B não se diferenciaram, havendo padrões distintos apenas para o pasto C.

As informações *in situ* ajudam a explicar os resultados do MESMA, sem, contudo apresentar concordância entre as porcentagens de cobertura observadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – Geodegrade” (SEG Embrapa - 02.10.06.011.00.00) e à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios Regional Extremo Oeste.

Referências Bibliográficas

- Chander, G. **Cross-calibration of the ETM+, TM, IRS-P6 AWIFS/LISS-III, and CBERS-2 HRSCCD sensors**, 2007. Disponível em: <<http://www.pecad.fas.usda.gov/pdfs/2007/13%20Gyanesh%20Chander.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2012
- Dennison, P.E.; Halligan, K.Q.; Roberts, D.A. A comparison of error metrics and constraints for Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis and Spectral Angle Mapper. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 3, p. 359–367, 2004.
- Dennison, P.E.; Roberts, D.A. Endmember selection for mapping chaparral species and fraction using Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis. **Remote Sensing of Environment**. v. 87, n. 2, p. 123–135, 2003.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 07 out. 2014.
- Nogueira, S. F.; Macedo, M. C. M.; Chapuis, R. P.; Silva, G. B. S. **Protocolo de campo para validação de métodos de identificação de níveis de degradação de pastagens usando de imagens multissensores**. Campinas-SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012 (Circular Técnica).
- Ozgodan, M.; Woodcock, C. Resolution dependent errors in remote sensing of cultivated areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 2, p. 203-21, Jul 2006
- Roberts, D. A., Dennison, P.E., Gardner, M., Hetzel, Y., Ustin, S.L., Lee, C. Evaluation of the potential of Hyperion for fire danger assessment by comparison to the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 6, p.1297–1310, 2003.
- Roberts, D.A., Halligan, K., P. Dennison, P.E. VIPER tools user manual, v 1.5, 2007.
- Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Moreira, M. A.; Arai, E.; Rudorff, B.F.T.; Freitas, R. F; Lima, A.; Aragão, J. R. L. Detecção de áreas desflorestadas em tempo real (PROJETO DETER) para os anos de 2005 e 2006. São José dos Campos: INPE, 2005.
- Shimabukuro, Y. E., Smith, J. A. The least-squares 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, Jan. 1991.
- StatSoft, Inc. (2014). STATISTICA (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com.
- Silva, G. B. S.; Gomes, D. ; Folharini, S.O. ; Nogueira, S. F.; Vicente, L.; Andrade, R.G. ; Furtado, A.L.S. **Procedimentos para correção geométrica de imagens de satélite**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012 (Circular Técnica).
- Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D. A.; Silva, W. F.; Sugawara, L. M.; Adami, M.; Moreira, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010. doi: <10.3390/rs2041057>.