

ESTIMATIVA DA ÁREA DE SOJA NO RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT

Soybean crop area estimation in Rio Grande do Sul through Landsat images

Rodrigo Rizzi
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Sensoriamento Remoto

Avenida dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515, 12.245 - 970, São José dos Campos - SP.
{rizzi, bernardo}@dsr.inpe.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi mapear e estimar a área plantada com soja em municípios do Rio Grande do Sul com base na classificação digital e interpretação visual de imagens multitemporais adquiridas durante a operação conjunta dos satélites Landsat-5 e -7, na safra 2000/01. Seis cenas das órbitas 220 a 224, pontos 79 e 80 foram adquiridas em duas datas-chaves para identificação das áreas cultivadas com soja. O mapeamento da soja foi realizado por meio de um procedimento de classificação digital seguido de uma metódica interpretação visual das imagens multitemporais a fim de permitir a correta identificação das lavouras de soja, com base no seu comportamento espectro-temporal característico. A partir do mapeamento foi estimada a área plantada com soja, a qual foi comparada com as estatísticas oficiais fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As maiores diferenças relativas foram observadas em municípios em que a cultura possui pouca expressão, embora as maiores diferenças absolutas fossem observadas em municípios onde a área plantada com soja é bastante expressiva (acima de 10.000 ha). Em nível estadual foi observada uma diferença de 11,3% entre a estimativa do IBGE (2.773.498 ha) e a das imagens Landsat (2.492.880 ha). A condição particular de operação simultânea dos satélites Landsat-5 e -7 durante a safra de 2000/01 mostrou que imagens livres de nuvens, adquiridas em datas-chaves, podem ser utilizadas para o correto mapeamento da soja e auxiliar na melhoria das estatísticas agrícolas oficiais.

Palavras-chaves: Sensoriamento remoto, estatísticas agrícolas, geotecnologias.

ABSTRACT

The objective of this work was to map and estimate soybean crop area in municipalities of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, through digital classification and visual interpretation based on multitemporal images acquired during the combined operation of Landsat-5 and -7 satellites, in crop year 2000/01. Six scenes from paths 220 to 224, rows 79 and 80 were acquired at two key dates to identify soybean crop areas. The soybean crop map was carried out through digital classification followed by a meticulous visual interpretation of the multitemporal images in order to correctly map all soybean areas based on its typical temporal-spectral behavior. Crop area was estimated based on the soybean map and compared with official estimation provided by the Brazilian Geography and Statistics Institute (IBGE). The largest relative differences were observed in municipalities where soybean plantation is less expressive, although greatest absolute differences were observed in municipalities with large amount of soybean (above 10.000 ha). For the overall State estimate a difference of 11.3% between IBGE (2,773,498 ha) and Landsat images (2,492,880 ha) was observed. The particular simultaneous operation condition of Landsat-5 e -7 satellites during the crop year of 2000/01 showed that cloud free images acquired at key periods can be used to correctly map soybean areas and to assist the official agricultural statistics improvement.

Keywords: Remote sensing, agricultural statistics, geotechnologies.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tornou-se em 2003 o maior exportador mundial de soja, superando os Estados Unidos (USDA, 2004). Em 2004, as vendas brasileiras do complexo soja, que engloba os segmentos de grãos, farelo e óleo, alcançaram US\$ 10 bilhões contra US\$ 8,1 bilhões do ano anterior, o que correspondeu a aproximadamente 10% do total das exportações (CNA, 2005). Ainda em 2004, o Rio Grande do Sul contribuiu com 11% da produção de soja do País, sendo a principal cultura no Estado.

Dada a importância da soja e do agronegócio para a economia do País, ações governamentais para o controle das importações e exportações dos produtos agrícolas, tanto em respeito à balança comercial, quanto ao adequado abastecimento do mercado interno, exigem informações frequentes e confiáveis sobre a produção agrícola. Tais informações são também relevantes para direcionar financiamentos da produção e para que o produtor possa tomar decisões acertadas no que se refere ao plantio e à comercialização dos bens de produção.

No Brasil, as estimativas oficiais de previsão de safras agrícolas são realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio de um sistema de levantamento subjetivo, baseado em opiniões formadas por agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor (SANO *et al.*, 1998). Esse sistema, denominado *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola* (LSPA), fornece mensalmente informações referentes à estimativa de área plantada, produtividade média e produção de diversas culturas, desde a fase de intenção de plantio até o final da colheita (IBGE, 2005).

Entretanto, a grande extensão territorial brasileira, aliada à dinâmica espaço-temporal da atividade agrícola, torna difícil a obtenção de informações atualizadas e confiáveis sobre este setor da economia. Por outro lado, a utilização das chamadas *geotecnologias*, que envolvem imagens de sensoriamento remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), podem auxiliar na obtenção dessas informações de forma rápida, precisa e com menor custo, quando comparadas às geradas pelas técnicas subjetivas tradicionais (PINO, 2001). Assim, pesquisadores brasileiros têm desenvolvido metodologias que possibilitam a incorporação das geotecnologias nos atuais sistemas de levantamentos de safras agrícolas, tanto na estimativa da área plantada (RUDORFF *et al.*, 2004), quanto na estimativa da produtividade agrícola (RIZZI, 2004).

Pesquisas relacionadas à estimativa da área plantada estão concentradas, principalmente, na classificação de imagens adquiridas por sensores ópticos de média resolução espacial a bordo dos satélites da série Landsat, auxiliadas por informações obtidas a campo (MEDEIROS *et al.*, 1996; IPPOLITI-RAMILO *et al.*, 2003) e amparadas por sistemas de amostragem (ADAMI *et al.*, 2005; LUIZ *et al.*, 2003). Tais pesquisas têm demonstrado inegável potencial do uso das imagens de SR e dos SIGs na identificação e quantificação da

área ocupada pelas culturas agrícolas em determinada região.

Atualmente, o principal entrave para a utilização dessas imagens em um sistema rotineiro de levantamento de safras de grandes culturas é a obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens. Isto pode ser minimizado por meio do aumento da frequência temporal de aquisição das imagens, conforme observado durante a operação combinada dos satélites Landsat-5 e -7, entre 1999 e 2002. Neste período foi obtido um elevado número de imagens livres de nuvens devido ao aumento da frequência temporal dos satélites Landsat de 16 (operação individual) para 8 dias (operação combinada).

No intuito de utilizar estas imagens dentro do contexto da estimativa de safra, o presente trabalho visa mapear e estimar a área plantada com soja no Estado do Rio Grande do Sul, com base na classificação digital e interpretação visual de imagens multitemporais e multi-espectrais dos satélites da série Landsat.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo figura entre as latitudes S 27° 03' e S 30° 13' e as longitudes W 50° 40' e W 56° 20' (Fig. 1), abrangendo 322 municípios (111.628 km²), os quais corresponderam a mais de 90% da área plantada com soja no Rio Grande do Sul na safra 2000/01 (IBGE, 2005). É comum a prática de dois ciclos agrícolas por ano. Na estação de verão a principal espécie cultivada é a soja, com um pequeno destaque para o milho. Existem ainda áreas de pecuária extensiva sob pastagem natural (campo nativo), que vêm sendo substituídas pelo cultivo da soja. Os extremos oeste e sul são também caracterizados pela presença de arroz irrigado.



Fig. 1 – Localização geográfica da área de estudo no Estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Classificação das áreas com soja nas imagens Landsat

O mapeamento da soja foi realizado por meio da classificação digital e interpretação visual de imagens adquiridas pelos sensores Thematic Mapper (TM) e Enhanced TM+ (ETM+) a bordo dos satélites Landsat-5 e -7, respectivamente. As imagens adquiridas durante a safra 2000/01 e suas respectivas órbitas, pontos, datas e sensor são apresentadas na Tab. 1. Conforme pode ser observado na Tab. 1, as datas das imagens adquiridas correspondem ao período entre início de fevereiro e início de março. Na região em estudo a soja apresenta relativa rigidez no calendário agrícola. A semeadura tem início no final de outubro e se estende até meados de dezembro. Isto faz com que no período compreendido entre final de janeiro e início de março, a cultura se encontre em pleno desenvolvimento e cobrindo amplamente o solo. Nestas condições a soja é bem caracterizada nas imagens e também se destaca dos demais alvos da cena, em função da sua típica resposta espectral (RIZZI, 2004).

A classificação digital foi feita com as imagens adquiridas principalmente em março (Tab. 1). A primeira fase dessa classificação envolveu o processo de segmentação (SCHOWENGERDT, 1997) em que foi utilizado um algoritmo denominado *crescimento de regiões* (BINS *et al.*, 1996). Os limiares de área e similaridade adotados foram definidos em 64 pixels (\cong 4 ha) e sete níveis de cinza, respectivamente. Para diminuir o tempo computacional exigido pelo grande volume de dados, optou-se por utilizar apenas a banda 4 (infravermelho próximo) no processo de segmentação, pois ela apresenta a melhor discriminação entre a soja e os demais alvos da cena. Posteriormente, foi realizada a extração das regiões utilizando-se as bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) dos referidos sensores.

Em seguida, as imagens foram classificadas através do algoritmo *ISOSEG* (VENTURIERI & SANTOS, 1998), com limiar de aceitação de 75%, que agrupou as regiões em classes espectrais homogêneas, as quais foram superpostas às imagens Landsat e analisadas individualmente, sendo então associadas às classes temáticas de uso do solo, as quais se resumiram a *soja* e *não-soja*.

Em geral, a classificação digital deixa muito a desejar, devendo ser seguida de uma cuidadosa interpre-

tação visual a fim de que os possíveis erros da classificação sejam minimizados (RUDORFF *et al.*, 2005). Contudo, a interpretação visual somente pode melhorar o resultado da classificação digital se estiver munida de meios que permitam identificar as áreas omitidas de soja e as áreas incluídas de não-soja, na classe *soja*. Para tal, a correção da classificação digital foi feita com imagens adquiridas em duas datas (fevereiro e março) e que permitem a clara identificação da soja em pelo menos uma das datas. O plano de informação (PI) contendo as classes temáticas (*soja* e *não-soja*) foi superposto às imagens Landsat, sendo as duas classes criteriosamente analisadas, ora sobre as imagens adquiridas em fevereiro, ora sobre as adquiridas em março. As áreas erroneamente classificadas digitalmente foram então alteradas pelo fotointérprete para a classe temática correta.

O critério para definir uma área da imagem como pertencente a um determinado tema de uso do solo é particularmente importante na interpretação visual, pois irá definir se as classes temáticas resultantes irão representar a realidade existente no campo. A análise visual foi feita por um fotointérprete experiente e conhecedor da região de estudo. A interpretação foi feita na tela do computador utilizando-se as bandas espectrais 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio), as quais foram associadas às cores azul (B), vermelho (R) e verde (G), para formar a imagem em composição colorida (RGB453). Esta composição de bandas faz com que as áreas de soja fiquem visualmente bem destacadas dos demais alvos da cena.

2.3 Estimativa da área plantada por município

Através dos limites políticos municipais e do mapa temático com as áreas de soja e não-soja calculou-se a área plantada com soja em cada um dos 322 municípios da área de estudo. Esta informação foi comparada aos dados oficiais divulgados pelo IBGE. Além disso, optou-se por estratificar a área de estudo considerando-se a porcentagem de área plantada com soja estimada pelo Landsat em cada município, em relação à sua área total. Os limites de classes estabelecidos para a definição dos estratos foram: 0-20% (estrato 1), >20-40% (estrato 2) e >40-67% (sendo 67% o valor máximo encontrado) (estrato 3). A estratificação visou comparar a estimativa de área plantada via imagens Landsat com a estimada pelo IBGE, em relação à porcentagem de área ocupada pela cultura no município.

TABELA 1 – ÓRBITAS, PONTOS, DATA DA PASSAGEM E SENSOR REFERENTES ÀS IMAGENS LANDSAT UTILIZADAS NO MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM SOJA NO RIO GRANDE DO SUL, SAFRA 2000/01.

Órbita/ponto (deslocamento)	221/80 (4" N)	222/79 (3" S)	222/80 (3" S)	223/79 (2" S)	223/80 (2" S)	224/79 (5" S)
Classificação automática e interpretação visual	10-02-01**	05-03-01**	05-03-01**	04-03-01*	04-03-01*	03-03-01**
Interpretação visual	14-03-01*	25-02-01*	25-02-01**	08-02-01**	08-02-01**	07-02-01**

*Sensor TM - **Sensor ETM+

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação das áreas de soja nas imagens Landsat

A classificação das áreas de soja por meio das imagens Landsat envolveu diversas etapas: a) a segmentação; b) a classificação digital; e c) a interpretação visual. Para a segmentação das imagens foi verificado que o algoritmo empregado, os limiares estabelecidos e a banda utilizada mostraram-se eficientes na demarcação dos limites das áreas agrícolas e dos demais alvos presentes na cena, pois até mesmo áreas de tamanho reduzido (~4 ha) foram delimitadas de maneira satisfatória. A etapa da classificação digital através do algoritmo *ISOSEG*, também apresentou resultado satisfatório na identificação das áreas de soja bem desenvolvidas, muito embora em certos casos a soja fosse confundida com outros alvos. Exemplos de erros por omissão e por inclusão, ocorridos por ocasião da classificação digital, estão destacados por meio de círculos vermelhos nas Fig. 2a e 2b, respectivamente. Nota-se na Fig. 2a que áreas tipicamente de soja, não foram corretamente classificadas pelo *ISOSEG*. O inverso pode ser observado na Fig. 2b.

Tais áreas geralmente representam pequenos talhões ou bordas de talhões que, por razões diversas, não foram classificadas digitalmente de forma correta. A correção foi feita pelo intérprete durante a etapa da interpretação visual, por meio da edição do PI temático, ao lançar mão de aspectos espectrais (Fig. 3) e temporais (Fig. 4) das imagens do Landsat. A relativa facilidade com que as áreas de soja foram identificadas nas imagens durante a interpretação visual deve-se a algumas características intrínsecas da cultura e da própria área em estudo. As condições edafo-climáticas são favoráveis para o cultivo das mais variadas culturas agrícolas. Entretanto, a soja apresenta amplo destaque, que é favorecido pelo mercado e pela própria tradição agrícola da região. Além da soja, o milho tem certo destaque na região; contudo, esta cultura tem resposta espectral

muito distinta da soja, conforme indicado na Fig. 3. O comportamento espectral da soja (1), solo (2), mata (3), milho (4), água (5) e pastagem (6) para as bandas 3, 4 e 5 de uma imagem do sensor ETM+, adquirida em 08-02-2001, é apresentado na Fig. 3. Fica evidente que as áreas de soja se destacam dos demais alvos da cena, em especial, na banda 4.

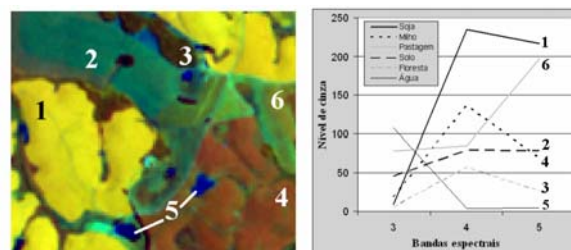


Fig. 3 – Comportamento espectral da soja (1), solo (2), mata (3), milho (4), água (5) e pastagem (6) em uma imagem Landsat, composição colorida RGB453, adquirida em 08-02-2001.

A despeito da evidente caracterização das áreas cultivadas com soja nas imagens Landsat, foram observados erros na classificação digital já mencionados anteriormente (Fig. 2) e também devido às diferenças na época de semeadura da cultura, uma vez que a classificação digital foi realizada apenas com uma data. Daí a necessidade de se utilizar pelo menos duas imagens de épocas distintas e específicas, pois as lavouras plantadas tardiamente ainda não podem ser identificadas claramente na data de aquisição da primeira imagem (p. ex. área 3 na Fig. 4a), mas ficam evidenciadas na segunda data de aquisição da imagem (p. ex. área 3 na Fig. 4b.) Por outro lado, as lavouras plantadas precocemente só ficam bem caracterizadas na primeira data da imagem (p. ex. área 2 na Fig. 4a), pois já estão senescendo por ocasião da aquisição da segunda data da imagem. Já a soja plantada em uma época intermediária é claramente identificada em ambas as datas, conforme ilustra a área 1 das Fig. 4a e 4b.

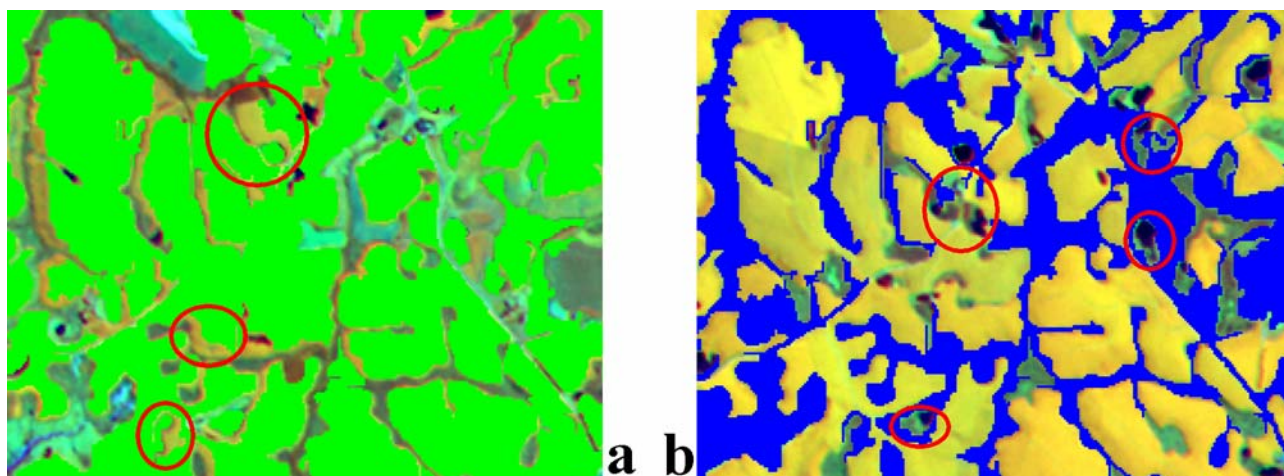


Fig. 2 - Classe temática soja (verde) sobreposta à imagem Landsat (RGB453) e os erros da classificação por omissão (a). Classe temática não-soja (azul) sobreposta à imagem Landsat, (RGB453) e os erros da classificação por inclusão (b).

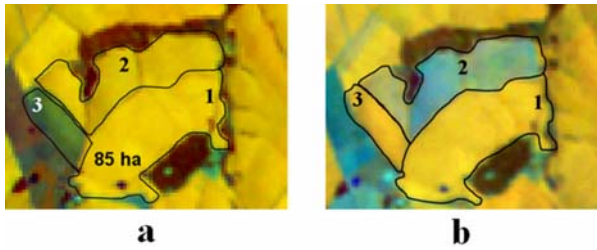


Fig. 4 – Composição colorida RGB453 de imagens Landsat adquiridas em: a) 08-02-2001 e b) 04-03-2001.

Ainda que a maioria das áreas de soja pudesse ser identificada em ambas as datas, foi fundamental dispor das duas datas para uma correta classificação da soja. Isto reforça a importância do aspecto multitemporal das imagens e da necessidade da utilização de imagens adquiridas em períodos-chaves ao longo do ciclo da cultura, para que a estimativa da área plantada com soja seja fiel à realidade do campo.

O procedimento de classificação digital é ágil, porém pouco exato; já a interpretação visual é extremamente trabalhosa para uma grande região tal como a do presente estudo. Desta forma podemos concluir que os dois métodos são complementares e quando utilizados de forma conjunta permitem realizar o mapeamento de forma muito próxima a existente no campo. Ressalta-se ainda que a condição particular com que a soja se apresentou nas imagens Landsat minimizou a possibilidade de erro por parte do intérprete e, consequentemente, tornou a aferição a campo sem sentido.

O uso de imagens multitemporais adquiridas em períodos específicos ao longo do ciclo da cultura, aliado ao já comentado problema relacionado à cobertura de nuvens, reforça a importância de se dispor de satélites de sensoriamento remoto com elevada frequência de revisita para viabilizar o uso do sensoriamento remoto em um sistema rotineiro de levantamento de estatísticas agrícolas. Cabe aqui enfatizar que a resolução temporal de 16 dias de cada satélite Landsat não é adequada, pois dificilmente permite adquirir imagens livres de nuvens em duas datas sobre áreas extensas. Porém, a operação conjunta de dois satélites Landsat aumentou a resolução temporal de 16 para 8 dias e propiciou a aquisição de imagens livres de nuvens em períodos-chaves para identificação correta da soja. A Fig. 5 apresenta o mapa temático final da classificação das imagens Landsat contendo as classes *soja* e *não-soja* e a divisão política municipal.

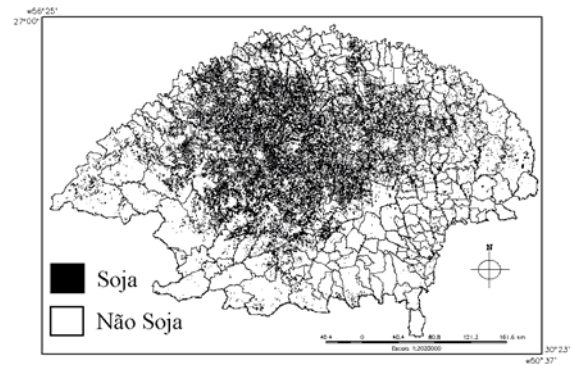


Fig. 5 – Mapa temático referente à classificação das áreas com soja, safra 2000/01.

3.2 Estimativa da área plantada por município

Pelo fato do estudo abranger mais de 90% da área cultivada com soja no Rio Grande do Sul na safra estudada, os dados referentes ao somatório dos 322 municípios analisados foram denominados de *nível estadual*.

Na Tab. 2 estão transcritos os valores de área plantada com soja obtidos por meio da classificação das imagens Landsat e a diferença relativa em relação à estimativa fornecida pelo IBGE, para os 322 municípios da área de estudo. Os dados provenientes do levantamento oficial podem ser encontrados em www.ibge.gov.br.

Em nível estadual a estimativa da área plantada com soja pelo IBGE foi de 2.773.498 ha e pelo mapeamento do Landsat foi de 2.492.880, o que corresponde a uma diferença de 280.618 ha, ou seja, o levantamento da área de soja com as imagens orbitais foi 11,3% inferior ao levantamento do IBGE nos 322 municípios analisados. Foi verificado também que em 240 municípios o valor da área plantada estimada pelo IBGE foi superior ao da classificação das imagens Landsat. A Fig. 6 ilustra as diferenças (ha) a mais e a menos dos valores das estimativas do IBGE em relação às estimativas via imagens do Landsat.

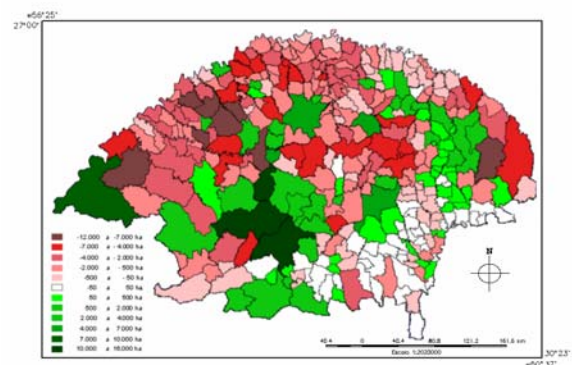


Fig. 6 – Diferença (ha), em nível municipal, dos valores das estimativas do IBGE em relação às estimativas via imagens Landsat.

As diferenças relativas mais acentuadas foram encontradas, principalmente, nos municípios com me-

nos de 20% de área de soja (estrato 1). Por exemplo, no município de Palmitinho, observou-se uma diferença de 1.083 ha a menos para a estimativa do Landsat (117 ha), ou seja, 9,2 vezes inferior à estimativa do IBGE. Outro exemplo é o do município de Carlos Gomes, com uma diferença de 1.606 ha entre a estimativa do Landsat (194 ha) e a do IBGE (1.800 ha). Exemplo mais drástico ainda é o de Santa Cruz do Sul, onde foram mapeados apenas 14 ha de soja nas imagens do Landsat, mas o IBGE informa que o município plantou 900 ha. Embora a diferença relativa entre as estimativas do Landsat e do IBGE, para a maioria dos municípios do estrato 1 foi muito elevada, a diferença absoluta tem maior impacto para o conjunto dos 176 municípios deste estrato, com uma diferença de 101.358 ha (27%) a menos para o Landsat em relação ao IBGE (Tab. 3).

Em contrapartida, em municípios onde a área plantada com soja é mais expressiva (>20% de área de soja no município; estratos 2 e 3), apesar das diferenças relativas serem consideravelmente menores, observou-se diferenças absolutas muito pronunciadas. Por exemplo, em Júlio de Castilhos a diferença relativa entre Landsat (60.315 ha) e IBGE (50.000 ha) foi de 17%, o

que corresponde a 10.315 ha a mais de soja mapeados nas imagens do Landsat. No município de Jóia o valor do Landsat (58.341 ha) foi 3.341 ha maior que o do IBGE (55.000 ha); em Soledade o valor do Landsat (11.637 ha) foi 5.237 ha superior ao do IBGE (6.400 ha), que corresponde a uma diferença relativa de 45%. Já em Giruá o valor do Landsat (47.239 ha) foi 9.261 ha inferior ao do IBGE (56.500 ha). Semelhante resultado foi observado para Ijuí, onde o valor do Landsat (32.257 ha) foi 9.943 ha inferior ao do IBGE (42.200 ha). Outros municípios como Colorado, São Miguel das Missões, São Martinho da Serra e Selbach apresentaram diferenças mínimas entre as estimativas do Landsat e do IBGE. Para o estrato 2 (>20-40% de soja no município) a diferença absoluta entre Landsat (695.154 ha) e IBGE (826.828 ha) foi de 131.647 ha, que corresponde a uma diferença relativa de 18,9%. Já o estrato 3 (>40% de soja no município), apesar de ser responsável por quase metade da área de soja do estado, apresentou uma diferença absoluta entre Landsat (1.422.479 ha) e IBGE (1.470.065 ha) de 47.586 ha, que corresponde a apenas 3,3% (Tab. 3).

TABELA 2 – ÁREA PLANTADA COM A CULTURA DA SOJA OBTIDA POR MEIO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT E A DIFERENÇA PERCENTUAL EM RELAÇÃO À ESTIMATIVA OFICIAL DO IBGE.

Município	Área (ha)	Dif. (%)	Município	Área (ha)	Dif. (%)	Município	Área (ha)	Dif. (%)
Água Santa	9.319	-5,2	Fortaleza dos Valos	28.218	4,3	Quevedos	7.051	-84,4
Ajuricaba	19.526	12,9	Frederico Westphalen	2.219	-57,7	Quinze de Novembro	9.533	-12,8
Alecrim	3.111	-92,9	Garruchos	7.554	-58,9	Redentora	8.659	-50,1
Alegria	5.967	-42,5	Gaurama	2.085	-19,9	Relvado	24	-4,2
Al. Tam. do Sul	10.494	-30,6	Gentil	5.269	-27,2	Restinga Seca	5.599	37,5
Alpestre	269	-85,9	Getúlio Vargas	10.539	17,4	Rio dos Índios	6.427	-40,0
Alto Alegre	5.645	11,4	Giruá	47.239	-19,6	Roca Sales	657	-128,3
Ametista do Sul	25	-3.900	Gramado dos Loureiros	3.106	-44,9	Rodeio Bonito	896	-402,2
André da Rocha	1.958	-27,7	Gramado Xavier	0	0	Rolador	7.755	-41,8
Anta Gorda	59	-272,9	Guabijú	697	13,9	Ronda Alta	21.753	-1,1
Antonio Prado	0	0	Guaporé	75	-500	Rondinha	9.743	-2,6
Aratiba	13	-2.20	Guarani das Missões	10.226	-80,9	Roque Gonzales	5.359	-49,3
Arroio do Meio	880	-59,1	Herveiras	0	0	Sagrada Família	1.428	-68,1
Arroio do Tigre	1.316	-59,6	Horizontina	8.724	-39,3	Saldanha Marinho	12.130	-1,8
Arvorezinha	35	-14,3	Humaitá	6.377	-17,6	Salto do Jacuí	20.513	17,1
Augusto Pestana	18.105	-4,9	Ibarama	5	100	Salvador das Missões	3.758	-19,7
Áurea	3.378	-0,7	Ibiaçá	14.205	2,9	Sananduva	13.073	23,5
Bar. de Cotegipe	1.803	14,0	Ibiraiaras	3.995	39,9	Sta Bárbara do Sul	54.446	-10,2
Barra do Guarita	1.360	-91,2	Ibirapuitã	8.850	26,9	Sta Cecília do Sul	6.632	22,2
Barra do Rio Azul	37	-305,4	Ibirubá	34.534	-5,0	Sta Clara do Sul	272	-83,8
Barra Funda	2.630	-25,5	Ijuí	32.257	-30,8	Sta Cruz do Sul	14	-6.329
Barracão	6.873	-74,6	Ilópolis	0	0	Sta Maria	8.828	26,4
Barros Cassal	933	8,9	Independência	17.407	-43,6	Sta Rosa	22.017	-36,3
Benj. Const. Sul	154	-94,8	Inhacorã	6.681	-4,8	Santiago	10.865	12,6
Boa Vis. Missões	10.028	-19,7	Ipê	394	-204,6	Sto Ângelo	29.097	-16,9
Boa Vis. Buricá	1.818	-257,5	Ipiranga do Sul	6.989	2,7	Sto Antônio Missões	15.256	-63,9
Boa Vis. Cadeado	38.411	40,7	Iraí	834	-259,7	Sto Antônio do Palma	1.113	-79,7
Boa Vis. do Inera	26.525	12,2	Itaara	1.635	14,4	Sto Antônio do Planalto	8.895	-12,4
Bom Progresso	3.005	-53,1	Itacurubi	1.788	-67,8	Sto Augusto	24.257	-17,5

Bom Retiro Sul	0	0	Itapuca	61	-113,1	Sto Cristo	8.614	-132,2
Boq. do Leão	0	0	Itatiba do Sul	75	-433,3	Sto Expedito do Sul	2.870	-32,4
Bossoroca	25.680	-9,0	Ivorá	1.019	36,2	São Borja	38.695	22,5
Bozano	14.242	28,4	Jaboticaba	2.184	-82,9	São Domingos do Sul	231	43,7
Braga	5.362	-30,5	Jacuizinho	8.183	-58,9	São João da Urtiga	786	-78,1
Cacique Doble	3.217	-64,7	Jacutinga	9.094	-13,3	São João do Polêsine	137	-46,0
Caibaté	9.083	-34,3	Jaguari	1.327	-88,4	São Jorge	367	18,3
Caiçara	936	-156,4	Jari	8.439	-42,2	São José das Missões	2.591	-73,7
Camargo	2.673	-19,7	Jóia	58.341	5,7	São José do Herval	37	-116,2
Campest. da Serra	1.201	33,4	Júlio de Castilhos	60.315	17,1	São José do Inhacora	1.287	-85,1
Campina Missões	4.915	-42,4	Lagoa Bonita do Sul	325	16,9	São José do Ouro	6.718	-48,9
Campinas do Sul	10.578	-19,1	Lagoa dos Três Cantos	7.184	-4,4	São Luiz Gonzaga	40.315	-9,1
Campo Novo	12.008	-4,1	Lagoa Vermelha	20.749	13,2	São Marcos	0	0
Campos Borges	5.638	-10,0	Lagoão	0	0	São Martinho	7.851	0,6
Candelária	7.174	-36,6	Lajeado	218	45,0	São Martinho da Serra	7.549	0,6
Candido Godói	9.406	-22,3	Lajeado do Bugre	1.972	-153,5	São Miguel das Missões	40.912	1,0
Canudos do Vale	0	0	Liberato Salzano	1.983	-152,1	São Nicolau	7.094	-12,8
Capão Bonito Sul	9.987	29,9	Machadinho	4.530	-10,4	São Paulo das Missões	3.305	-21,0
Capão do Cipó	23.981	-8,4	Marau	20.707	-20,7	São Pedro das Missões	4.395	54,5
Capitão	0	-	Marcelino Ramos	77	-1.848,1	São Pedro do Butiá	3.411	-40,7
Carazinho	28.409	-17,2	Mariano Moro	5	-100,0	São Pedro do Sul	257	-172,4
Carlos Gomes	194	-827,8	Marques de Souza	205	75,6	São Valentim	664	-50,6
Casca	2.036	11,6	Mata	64	-837,5	São Valentim do Sul	54	3,7
Caseiros	4.594	2,0	Mato Castelhano	8.658	-47,8	São Valério do Sul	5.034	-17,2
Catuípe	36.150	8,7	Mato Leitão	80	62,5	São Vicente do Sul	1.227	-22,2
Centenário	1.826	-99,9	Mato Queimado	4.297	-35,0	Sarandi	13.334	-8,0
Cerro Grande	804	-235,8	Maximiliano de Almeida	560	-78,6	Seberi	5.885	-61,4
Cerro Largo	4.153	-20,4	Miraguai	2.305	-51,8	Sede Nova	6.557	23,7
Chapada	33.030	-4,5	Montauri	338	-18,3	Segredo	573	-22,2
Charrua	4.683	3,9	Monte Al. dos Campos	114	-75,4	Selbach	9.582	0,9
Chiapeta	21.770	-5,6	Mormaço	5.419	-19,9	Senador Salgado Filho	7.602	14,5
Ciriaco	4.849	-15,5	Muçum	292	31,5	Serafina Corrêa	130	-284,6
Colinas	379	7,7	Muitos Capões	13.965	-79,0	Sério	1	-900
Colorado	15.055	-0,3	Muliterno	1.420	33,1	Sertão	19.981	-30,1
Condor	25.243	-3,4	Não-Me-Toque	17.113	-5,2	Sete de Setembro	5.343	-40,4
Constantina	5.617	-37,1	Nicolau Vergueiro	6.847	-9,5	Severiano de Almeida	83	-502,4
Coqueir de Baixo	0	-	Nonoai	11.196	-34,0	Silveira Martins	1.058	52,7
Coqueiros do Sul	9.889	-11,2	Nova Alvorada	763	-57,3	Sinimbu	0	-
Coronel Barros	8.770	-23,1	Nova Araçá	0	0	Sobradinho	419	52,3
Coronel Bicaco	28.817	-4,1	Nova Bassano	68	85,3	Soledade	11.637	45,0
Cotiporã	35	71,4	Nova Boa Vista	3.962	-3,5	Tapejara	9.543	-15,3
Coxilha	19.423	-13,3	Nova Candelária	1.983	-81,5	Tapera	9.496	-7,4
Crissiumal	8.478	-53,3	Nova Esperança do Sul	2.011	-64,1	Taquaruçú do Sul	779	-105,4
Cristal do Sul	1.272	-198,7	Nova Palma	4.024	0,6	Tenente Portela	9.276	-40,1
Cruz Alta	70.939	5,6	Nova Prata	612	51,0	Tio Hugo	4.633	-29,5
Cruzaltense	6.655	18,9	Nova Ramada	14.814	10,9	Tiradentes do Sul	5.804	-80,9
Cruzeiro do Sul	588	-274,1	Nova Roma do Sul	0	0	Toropí	95	-426,3
David Canabarro	1.265	20,9	Novo Barreiro	3.765	-19,5	Travesseiro	112	-167,9
Derrubadas	8.029	-10,8	Novo Cabrais	2.364	15,4	Três Arroios	123	-387,8
Dezes. de Nov.	383	-135,0	Novo Machado	10.701	-2,8	Três de Maio	19.266	-24,6
Dil. de Aguiar	2.174	35,6	Novo Tiradentes	427	-1000,7	Três Palmeiras	4.615	-62,5
Dois Irm. Miss.	13.679	-3,8	Novo Xingu	2.351	-40,4	Três Passos	5.823	-71,7
Dois Lageados	0	-	Paim Filho	929	-7,6	Trindade do Sul	6.445	-55,2
Dona Francisca	20	-50,0	Palmeira das Missões	82.129	5,0	Tucunduva	9.004	-16,6
Dr. M. Cardoso	12.833	4,2	Palmitinho	117	-925,6	Tunas	1.315	-14,1
Doutor Ricardo	27	-92,6	Panambi	22.361	-18,1	Tupanci do Sul	2.585	-54,7

Encantado	177	-103,4	Parai	6	-33,3	Tupanciretã	91.437	12,5
Engenho Velho	2.665	-31,3	Paraiso do Sul	191	16,2	Tuparendi	12.049	-24,5
Entre Rios do Sul	2.658	-77,2	Passa Sete	679	-32,5	Ubiretama	5.004	-19,9
Entre-Ijuís	24.895	-16,5	Passo do Sobrado	500	-2,0	União da Serra	51	-194,1
Erebango	6.622	16,9	Passo Fundo	28.448	-19,5	Vacaria	15.282	-30,9
Erechim	7.423	39,4	Paulo Bento	3.087	-26,7	Vale do Sol	121	9,1
Ernestina	12.246	-16,4	Pejuçara	25.744	-1,0	Vale Verde	416	-68,3
Erval Grande	1.213	-64,9	Pinhal	517	-228,8	Vanini	307	41,4
Erval Seco	7.838	-85,0	Pinhal da Serra	1.737	-72,7	Venâncio Aires	87	31,0
Esmeralda	3.868	-55,1	Pinhal Grande	11.655	9,9	Veranópolis	37	89,2
Esperança do Sul	3.926	-65,6	Pinheirinho do Vale	352	-127,3	Vespasiano Corrêa	692	-8,4
Espumoso	29.235	-6,0	Pirapó	2.465	-13,6	Viadutos	561	-78,3
Estação	3.655	-4,0	Planalto	635	-183,5	Vicente Dutra	736	-22,3
Estrela	615	35,0	Pontão	25.964	19,1	Victor Graeff	12.291	-24,5
Estrela Velha	9.712	-5,0	Ponte Preta	2.857	-9,0	Vila Flores	147	59,2
Eugênio de Castro	19.993	-5,0	Porto Lucena	3.444	-59,7	Vila Langarô	5.919	-18,3
Fagundes Varela	104	61,5	Porto Mauá	3.523	-13,5	Vila Maria	3.846	-17,0
Fax. do Soturno	313	-59,7	Porto Vera Cruz	570	-224,6	Vista Alegre	633	-184,4
Faxinalzinho	3.941	-1,5	Porto Xavier	918	-281,3	Vista Alegre do Prata	17	11,8
Fazenda Vila Nova	290	48,3	Pouso Novo	0	-	Vista Gaúcha	1.850	-94,6
Floriano Peixoto	2.224	32,6	Progresso	0	-	Vitória das Missões	8.087	-23,7
Fontoura Xavier	212	29,2	Protásio Alves	303	50,5			
Forquethinha	28	-607,1	Quatro Irmãos	7.542	48,2	<i>Total Estimado</i>	<i>2.492.880</i>	<i>-11,3</i>

TABELA 3 – ÁREA PLANTADA COM A CULTURA DA SOJA OBTIDA POR MEIO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT EM COMPARAÇÃO À FORNECIDA PELO IBGE, PARA OS DIFERENTES ESTRATOS.

Estrato* (municípios)	Área plantada (ha)		
	Landsat	IBGE	Diferença
1 (176)	375.247	476.605	-101.358 (27%)
2 (75)	695.154	826.828	-131.647 (18,9%)
3 (71)	1.422.479	1.470.065	-47.586 (3,3%)
Total (322)	2.492.880	2.773.498	-280.618 (11,3%)

* Estrato 1: 0-20%; estrato 2: >20-40%; estrato 3: >40%.

4. CONCLUSÕES

Os aspectos multiespectral e multitemporal das imagens de sensoriamento remoto para fins de mapeamento da cultura da soja em grandes regiões são fundamentais para a correta identificação da soja nas imagens orbitais, pois é preciso que elas sejam obtidas em condições de céu claro e por ocasião da plena cobertura do solo pela vegetação verde. A classificação digital seguida pela interpretação visual das imagens multitemporais e multiespectrais permite corrigir os erros de omissão e inclusão por meio da edição do mapa temático na tela do computador. A interpretação visual é bastante trabalhosa, mas se feita com cuidado e de forma criteriosa por um especialista experiente e com conhecimento da

área de estudo, torna o trabalho a campo desnecessário, em razão da resposta espectral típica da soja e da sua clara identificação nas imagens adquiridas entre as fases de pleno desenvolvimento vegetativo e enchimento de grãos.

A resolução temporal de 8 dias proporcionada pela operação conjunta dos satélites Landsat-5 e -7 foi adequada para obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens no Rio Grande do Sul em períodos chaves para identificação da cultura da soja. Infelizmente o Landsat-7 deixou de operar adequadamente em maio de 2003, diminuindo a probabilidade de obtenção de imagens livres de nuvens durante a safra agrícola do verão.

A comparação entre a área plantada com soja estimada pelo IBGE e pelo mapeamento das imagens do Landsat mostrou que a estimativa do IBGE foi 11,3% superior. Com a disponibilidade crescente de satélites de sensoriamento remoto espera-se que num futuro próximo os órgãos oficiais responsáveis pelas estatísticas agrícolas se beneficiem das imagens de sensoriamento remoto para auxiliar no levantamento de informações objetivas sobre a área plantada com grandes culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, C. C.; FARIA, R. T. Expansão direta na estimativa de culturas agrícolas por meio de segmentos regulares. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 57, v. 1, p. 22 – 27. Abr. 2005.

BINS, L. S.; FONSECA, L. M. G.; ERTHAL, G. J.; LI, F. M. Satellite imagery segmentation: a region growing

approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador, **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996, p.14 -16.

CNA - Confederação da Agricultura e pecuária do Brasil. **Agropecuária Brasileira**. 2005. Disponível em: <www.cna.org.br>.

FONTANA, D. C.; DUCATI, J. R.; WEBER, E.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; FIGUEIREDO, D. C. **Monitoramento e Previsão da Safra de Soja 1999/2000 no Brasil**. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, CEPSS-RM/UFRGS. 2001, 116 p. (Série D: Relatório Técnico - Nº 005/01).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Disponível em <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>: Acesso: 21 janeiro 2005.

IPPOLITI-RAMILO, G. A.; EPIPHANIO, J. C. N.; SHIMABUKURO, Y. E. Landsat-5 Thematic Mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 7, p. 1521-1534, 2003.

LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 111-118.

MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996.

MENDONÇA, F. J.; FUNCATE. **CANASATE - Mapeamento da cana-de-açúcar por satélite**. São José dos Campos, INPE, 1986. 60 p. (INPE 3843-RPE/503).

PINO, F. A. Estimativa subjetiva de safras agrícolas. **Informações Econômicas**, v. 31, n. 6, São Paulo, 2001.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja**: estudo de caso no Rio Grande do Sul. Tese Doutorado (Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004, 212p.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélites no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 21-39, jan./jun. 2005.

SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informação geográfica: Aplicações na agricultura**. 2 ed. Brasília. Embrapa-CPAC, 1998, Cap. 10, p. 179-190.

SCHOWENGERDT, R. A. **Models and methods for image processing**. 2ª ed. 1997, 522p.

USDA - United States Department of Agriculture. **USDA Foreign Agricultural Service: Production, Supply & Distribution**, 2004. Disponível em <www.fas.usda.gov/psd/complete_tables/OIL-table11-184.htm>. Acesso: 12 novembro 2004.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. ed. **Sistemas de informação geográfica: Aplicações na agricultura**. 2 ed. Brasília. Embrapa-CPAC, 1998, Cap. 2, p. 13-29.

Recebido em 21 de julho de 2005 – Aceito para publicação em 04 de novembro de 2005.