

Mapeamento de áreas agrícolas na safra de verão a partir de imagens Landsat frente aos dados oficiais

Mapping of agricultural areas in the summer crop season using Landsat images against official data

Luís Guilherme Teixeira Crusiol^{1*}, Osvaldo Coelho Pereira Neto², Marcos Rafael Nanni¹, Anderson Antonio da Silva Gualberto¹, Renato Herring Furlanetto¹, Carlos Antonio da Silva Junior³

Resumo: O mapeamento das áreas agrícolas de uma determinada região é de fundamental importância, uma vez que se pode conhecer as condições das lavouras e inferir sobre produção e produtividade. O agronegócio exerce grande influência em diferentes setores da economia, tendo repercussões, também, sobre a dinâmica social. Assim, informações antecipadas sobre as condições das lavouras permitem ao governo e à diversas instituições ligadas ao agronegócio o planejamento de políticas de apoio à produção agrícola, levando à maximização dos lucros ou minimização de possíveis prejuízos. Nesse contexto, tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento assumem importância ímpar, já que podem monitorar, mapear e quantificar as áreas de produção agrícola. O objetivo-se com o presente trabalho mapear as áreas agrícolas do município de Londrina em cinco safras de verão, confrontando os resultados obtidos com os dados oficiais. Foram utilizadas imagens Landsat 5 e 7 de cinco diferentes safras. Realizou-se o processamento digital e classificação do uso do solo das imagens por meio do *software* Spring e classificador Maxver, respectivamente. Os resultados obtidos apontaram baixa precisão da metodologia utilizada, de modo que houve grande superestimação dos dados em duas safras e subestimação dos dados em três safras. Conclui-se que a metodologia utilizada possui grande potencial de aplicabilidade desde que atendidos alguns pressupostos, como maior disponibilidade das imagens, melhoria na qualidade das imagens e disponibilização de dados oficiais seriados em safra de verão e inverno.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Maxver. Uso do solo.

Abstract: The mapping of agricultural areas in a given region is of fundamental importance, as it is possible to gain knowledge of the condition of crops and infer information on production and productivity. Agribusiness has a great influence on different sectors of the economy, with repercussions on social dynamics. Early information on crop conditions therefore, allows the government and various institutions connected with agribusiness to plan a policy of support for agricultural production, leading to profit maximisation and the minimisation of possible losses. In this context, remote sensing and GIS technologies take on a unique importance, since they can monitor, map and quantify areas of agricultural production. The aim of this study was to map the agricultural areas of the town of Londrina over five summer crop seasons, and compare the results with official data. Images from Landsat 5 and 7 from five different seasons were used. Digital processing of the images and the classification of land use were carried out using the Spring *software* and Maxver classifier respectively. The results showed the low precision of the methodology used, with the data for two seasons being greatly overestimated, and underestimated for the other three. It is concluded that the methodology used shows great potential for application, provided that certain assumptions are met, such as increased image availability, improved image quality and the availability of official data series for the summer and winter seasons.

Key words: Geoprocessing. Maxver. Soil use.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 20/10/2015 e aprovado em 15/08/2016

¹Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Maringá, PR, Brasil, luisguilherme_crusiol@hotmail.com; marcos.nanni@gmail.com; anderson_agrouem@hotmail.com, renatohfurlanetto@hotmail.com

²Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências, Londrina, PR, Brasil, coelho@uel.br

³Universidade do Estado de Mato Grosso, Departamento de Engenharia Florestal, Alta Floresta, MT, Brasil, carlos-junior89@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque na produção mundial de grãos. Para a safra 2014/2015, estima-se uma produção de 206,34 milhões de toneladas, com área de 57,52 milhões de hectares destinadas aos cultivos agrícolas (CONAB, 2015). Desse total produzido, estima-se, para a safra 2014/2015, produção de 96,22 milhões de toneladas de soja, ocupando área superior a 31,9 milhões de hectares (CONAB, 2015); para a primeira safra de milho (2014/2015), estima-se 32,26 milhões de toneladas, sendo destinados a esse cultivo 6,59 milhões de hectares (CONAB, 2015); e, para a safra 2015, aproximadamente, 2,65 milhões de toneladas de café, ocupando área de 2,26 milhões de hectares (CONAB, 2014).

A produção agrícola na safra de verão no município de Londrina – PR apresenta de forma expressiva os três cultivos abordados acima: soja, milho e café. Juntos, totalizam mais de 90% de produção agrícola do município no período de verão (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, s.d).

O conhecimento das áreas agrícolas é de fundamental importância para o planejamento econômico e governamental. Assim, o sensoriamento remoto traz grande contribuição ao acompanhamento de safras. De acordo com Esquerdo *et al.* (2011), informações antecipadas sobre as condições da lavoura permitem melhor gerenciamento de políticas de financiamento e crédito rural, melhor tomada de decisões sobre investimentos financeiros, além de ser crucial para programas de segurança alimentar.

Dessa forma, frente a real necessidade de obtenção de informações rápidas e precisas sobre as condições dos cultivos agrícolas, ferramentas de geoprocessamento mostram-se importantes e de grande utilidade para identificar e monitorar as condições dos cultivos agrícolas de forma precisa e em curto espaço de tempo, permitindo planejamento e tomada de decisões antecipadas, de modo que produtores, empresas e corporações ligadas ao agronegócio, sobretudo o governo, poderão planejar suas ações buscando maximização dos lucros ou minimização de possíveis prejuízos.

A utilização de imagens orbitais, sobretudo a Landsat, é extensamente discutida na literatura científica e apresenta grande potencial de uso. Arasato *et al.* (2012) realizaram o monitoramento e detecções de mudanças de paisagem em área de mata atlântica. Ferreira *et al.* (2009) analisaram a relação da dinâmica agrícola e o desmatamento no estado de Goiás. Potgieter *et al.* (2014) estimaram áreas semeadas com trigo por meio de imagens Landsat.

Em áreas de grande extensão, a classificação de imagens Landsat foi utilizada por Knorn *et al.* (2009) e Celinski e Zimback (2010), sendo que os dois últimos autores fizeram

uso do classificador Maxver. Em escala municipal, Menke *et al.* (2009) realizaram a classificação de imagens Landsat demonstrando alterações nas formas de uso agrícola do solo em um período de vinte anos. Nessa linha, Batista e Santos (2011), a partir de classificação de imagens Landsat por meio do classificador Maxver, demonstraram as alterações no uso do solo ao longo do tempo.

Mediante o exposto, objetivou-se com esse trabalho mapear as áreas agrícolas do município de Londrina - PR em cinco safras de verão, a partir de imagens Landsat, e confrontar os resultados obtidos com os disponibilizados pelo IBGE.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Londrina, localizado na região norte central Paranaense, estado do Paraná (Figura 1). O município possui as seguintes coordenadas: 23° 18' 37" sul e 51° 09' 46" oeste, com altitude de 585 m (IPARDES, 2015).

De acordo com o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), o município de Londrina está inserido no clima subtropical (Cfa), de acordo com a classificação climática de Köppen, “com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida”. Essas condições climáticas permitem que os cultivos de soja, milho e café sejam realizados no município.

Os solos predominantes na região norte central paranaense são da classe Latossolo Roxo (MENDONÇA, 2010). A vegetação é classificada como Mata tropical-pluvial dos planaltos do interior, caracterizando-se como vegetação densa, do bioma mata atlântica (MAACK, 2012). O relevo da área de estudo possui, na porção norte, colinas levemente onduladas e vertentes longas, enquanto, na porção sul, seu aspecto é acidentado.

De acordo com o zoneamento agrícola do estado do Paraná, elaborado pelo IAPAR, a cultura do café é apta a ser desenvolvida no município de Londrina. A cultura do milho apresenta épocas de semeadura que se estendem de 11/09 a 20/11, podendo, no caso de ciclo tardio, ser semeado até 30/11. A cultura da soja apresenta períodos de semeadura que vão de 01/10 a 31/12. Embora as recomendações de épocas de semeadura sejam amplas com relação ao período, observa-se na área de estudo que até meados de novembro as semeaduras de soja e milho já estão, em sua maior parte, concluídas.

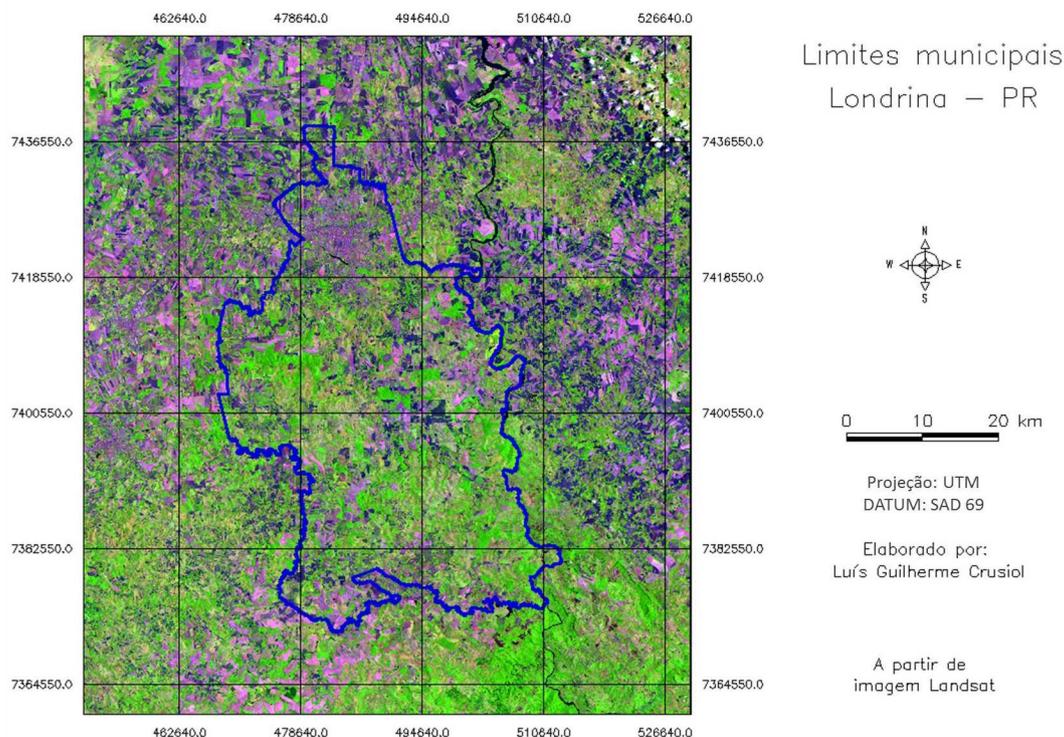


Figura 1 – Destaque (linha azul) do limite municipal de Londrina a partir de imagem Landsat datada de 27/11/2008 com composição R, G e B das bandas 3, 3 e 5.

Figure 1 – Outline (blue) of Londrina city limits from a Landsat image dated 27/11/2008 with RGB composition of bands 3, 4, and 5 respectively.

Aquisição dos dados de área e de produção agrícola

Os dados de área e de produção agrícola do Brasil foram obtidos por meio da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a partir dos boletins de levantamento de safra realizados por eles. Dados referentes à produção agrícola e à área colhida do município de Londrina foram obtidos através da base de dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES, que se utiliza de informações provenientes do IBGE para elaborar a base de dados do Estado do Paraná. O município de Londrina possui área de aproximadamente 1.656,6 km², sendo a soja, o milho e o café os cultivos de maior expressão, em área.

É importante enfatizar que, de acordo com a metodologia utilizada pelo IBGE, os dados obtidos de área agrícola são referentes ao ano, de modo que se levou em consideração dados do ano de colheita da safra. Para a cultura do milho e do café, cujos períodos de cultivo não se limitam apenas ao verão, os dados não são seriados em safra verão e safra inverno, o que pode causar subestimação dos valores obtidos por meio de imagem de satélite em relação aos dados oficiais.

Aquisição das imagens de satélite

Adquiriram-se imagens de cinco safras de verão por meio do acesso online do catálogo de imagens gratuitas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (www.dgi.inpe.br/CDSR). Selecionou-se uma imagem de cada safra, todas com órbita ponto 222/76, bandas 3, 4 e 5, livres de cobertura de nuvens que impossibilitasse sua interpretação. Além disso, não foram utilizadas imagens com ‘ruídos’ identificáveis visualmente.

Não foi realizado o acompanhamento multitemporal nas safras de verão em virtude da baixa disponibilidade de imagens livres de cobertura por nuvens e de ‘ruídos’. Entre os anos 1996 e 2011, das 320 imagens disponíveis no catálogo de imagens do INPE, 220 apresentam cobertura de nuvens que impossibilitam a utilização. Das 100 imagens aptas à utilização, apenas 21 correspondem ao período de semeadura e desenvolvimento das culturas de verão. Em virtude disso, buscando minimizar variações nos estádios de desenvolvimento das culturas agrícolas mapeadas, as safras selecionadas possuem imagens de períodos semelhantes, com diferença de data de apenas 15 dias.

As imagens das datas 02/12/1998, 07/12/2000, 22/11/2006, 27/11/2008 são provenientes do sensor TM, a bordo do satélite Landsat 5. A imagem da data 02/12/2001 é proveniente do sensor ETM+, a bordo do satélite Landsat 7. A resolução espacial das imagens é de 30 metros. Assume-se que cada imagem faz referência a uma safra de verão.

Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens (PDI) caracteriza-se como um conjunto de técnicas que permitem melhor identificação e extração de informações dispostas nas imagens de sensoriamento remoto (CROSTA, 2002).

O PDI foi realizado por meio do software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – Spring 5.2.6 (CÂMARA *et al.*, 1996), disponibilizado gratuitamente online pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

As imagens foram importadas para o Spring. Importou-se também o arquivo *shape* referente aos limites municipais de Londrina (Figura 1). Recortaram-se os limites municipais de Londrina-PR em cada uma das bandas para as cinco imagens utilizadas.

O registro das imagens foi realizado por meio de tela (imagem – imagem), tendo como base a imagem mais antiga (02/12/1998). Posteriormente, realizou-se a correção atmosférica por meio da *Dark Object Subtraction* (subtração do pixel escuro), proposto por Chavez (1988). A correção atmosférica é fundamental, uma vez que se busca eliminar a interferência da atmosfera nos valores contidos nas imagens (MOREIRA, 2011). O referido autor destaca ainda que a utilização dessa técnica de processamento assume maior importância quando se objetiva analisar o comportamento espectral de um alvo em diferentes datas, uma vez que a interferência da atmosfera não é a mesma ao longo do tempo.

Realizou-se o aumento linear de contraste para cada uma das bandas de cada imagem. Após a aplicação do contraste, as bandas utilizadas foram salvas, sendo utilizadas, posteriormente, no processo de classificação das imagens. O aumento linear de contraste é necessário, pois os sensores, embora programados para captarem 256 níveis de cinza (NC), captam valores concentrados em uma pequena faixa, assim, redistribui-se os NC nos 256 valores possíveis, destacando-se objetos da imagem (CROSTA, 2002).

A classificação das imagens foi realizada com base em interpretação visual, *pixel a pixel*, de forma supervisionada por meio do classificador Maxver (Máxima Verossimilhança), com limiar de aceitação de 100%. O objetivo principal da classificação de imagens de sensoriamento remoto é categorizar automaticamente todos os pixels da imagem, rotulando-os em diferentes classes e temas, de acordo com o uso do solo da superfície (LILLESAND, 2007).

As classes mapeadas na classificação de imagens foram: solo nu úmido, solo nu seco, pastagem, área agrícola 1, 2 (devido aos diferentes estádios de desenvolvimento das culturas), mata, área urbana e água para todas as safras. Para as safras 2006/2007 e 2009/2009, devido à ocorrência de nuvens, criou-se a classe ‘nuvem’, e para a safra 2000/2001, criou-se a classe ‘área agrícola 3’.

Para geração do mapa temático, foram geradas as classes ‘solo nu’, agrupando as classes de mapeamento ‘solo nu úmido’ e ‘solo nu seco’; ‘Área agrícola’, agrupando as classes de mapeamento ‘cultura 1’ e ‘cultura 2’ e ‘cultura 3’, quando existente; ‘Mata’, ‘Área urbana’ e ‘Água’. Para a classe ‘área agrícola’, selecionou-se, como amostras, número superior a 4.000 pixels.

Na Tabela 1, estão apresentados o número de amostras e o número de pixels coletados durante o processo de treinamento para classificação supervisionada.

Tabela 1 – Número de amostras por número de pixels coletados para o treinamento

Table 1 – Number of samples collected during training for number of pixels

	Safra				
	1998/1999	2000/2001	2001/2002	2006/2007	2008/2009
Urbano	7/2725	21/7038	10/1995	7/5585	6/2699
Mata	11/9006	25/25705	15/20160	16/14934	10/7391
Cultura 1	24/2613	47/8816	14/2500	27/4599	15/3498
Cultura 2	20/3204	28/5511	8/1822	4/400	3/909
Cultura 3	--	14/1980	--	18/4027	--
Pastagem	15/5070	8/2057	8/1976	15/2950	8/2440
Solo úmido	15/3045	23/3285	19/3284	17/3453	12/756
Solo seco	20/3090	31/5941	15/3120	20/1931	8/3036
Água	9/240	7/181	5/107	5/218	6/129
Nuvem	3/2100	--	--	4/481	1/96

Após a classificação das imagens, elaboraram-se mapas temáticos de uso do solo para cada safra em questão, destacando-se as classes temáticas acima mencionadas. Extraíu-se a área de cada uma das classes mapeadas nas cinco imagens. Os valores referentes à área agrícola foram utilizados para serem contrapostos aos valores oficiais.

Os dados referentes ao mapeamento foram avaliados por meio do índice de Exatidão Global e por meio do coeficiente Kappa (CONGALTON; GREEN, 1999). Os dois índices diferem quanto à forma de análise da matriz de confusão das classes selecionadas para o mapeamento e daquelas mapeadas automaticamente, sendo o índice Kappa mais robusto, uma vez que utiliza todos os dados da referida matriz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de uso do solo para as safras 1998/1999, 2000/2001, 2001/2002, 2006/2007 e 2008/2009 estão apresentados nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Os valores de área agrícola no município de Londrina medidos a partir de imagem de satélite e os valores oficiais (área colhida) de soja, milho, café e demais culturas estão dispostos na Tabela 2. Está disposta, também, a defasagem entre os dados oficiais e os medidos por imagem de satélite, seja por subestimação ou superestimação da área agrícola. Os resultados obtidos apontam para baixa precisão do mapeamento realizado, tendo havido subestimação de

áreas em três safras (2001/2002, 2006/2007 e 2008/2009) e superestimação em outras duas (1998/1999 e 2000/2001).

As maiores diferenças entre os valores oficiais e os medidos por imagem de satélite foram observadas para as safras 1998/1999 e 2000/2001. Nessas safras, enquanto os dados oficiais apontam para área colhida de 51.953 e 51.619 ha, respectivamente, a área obtida por meio de imagem de satélite foi 68.545 e 75.708 ha, respectivamente, e superestimação de 16.592 e 23.089 ha, respectivamente.

Os melhores resultados obtidos foram nas safras 2006/2007 e 2008/2008, apresentando menores defasagens entre os dados medidos por imagem de satélites e dados oficiais. Contudo, mesmo frente à baixa defasagem nessas safras, com subestimação de 4,69 e 3,96%, respectivamente, dos dados medidos por imagem de satélite, esses valores podem estar superestimados. Isso porque a metodologia utilizada pelo IBGE, na quantificação de áreas cultivadas, leva em conta a área colhida com determinada cultura ao longo do ano, não havendo distinção entre a área cultivada com milho na safra de verão e inverno.

Na Tabela 3, são apresentados os valores em porcentagem de exatidão do classificador Maxver e do usuário e os valores, em porcentagem, do desempenho geral dos mapeamentos gerados.

Embora os valores medidos por meio de imagens Landsat sejam divergentes daqueles oficiais, o desempenho geral de classificação e mapeamento foi superior a 70% na primeira safra e superior a 85% nas demais, sendo superior

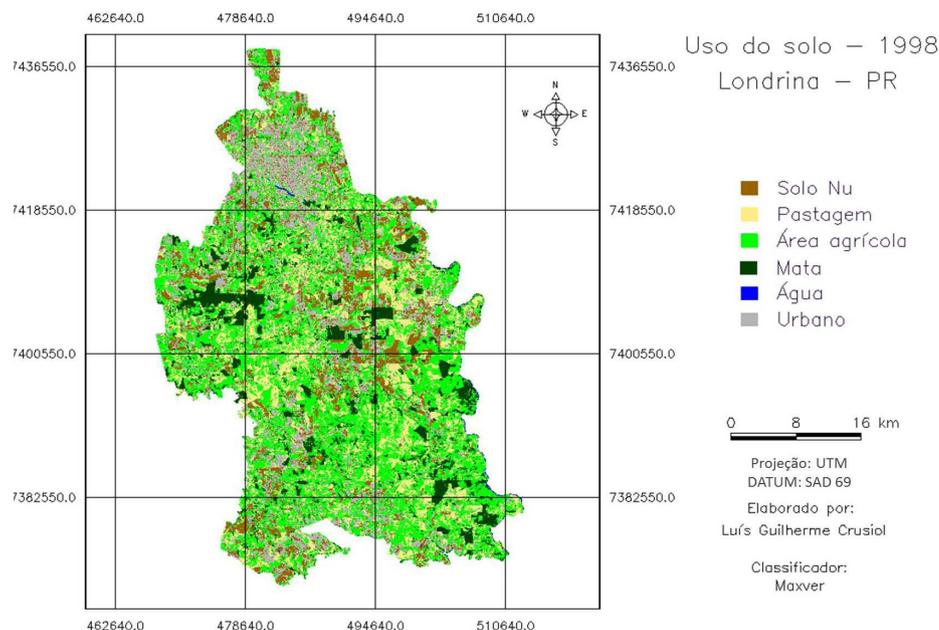


Figura 2 – Mapa de uso do solo do município de Londrina na safra 1998/1999.

Figure 2 – Land use map of Londrina in the 1998/1999 crop season.

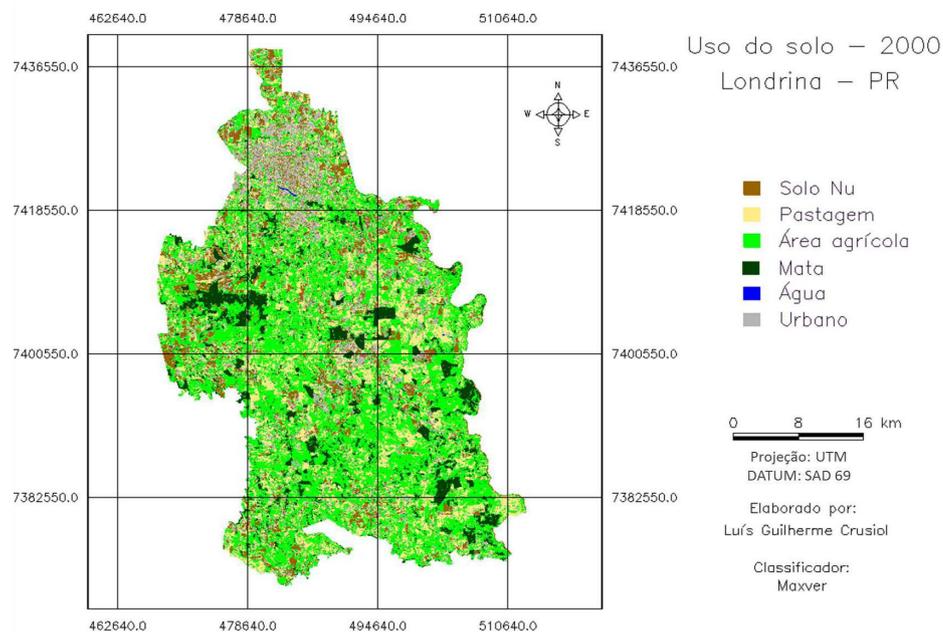


Figura 3 – Mapa de uso do solo do município de Londrina na safra 2000/2001.

Figure 3 – Land use map of Londrina in the 2000/2001 crop season.

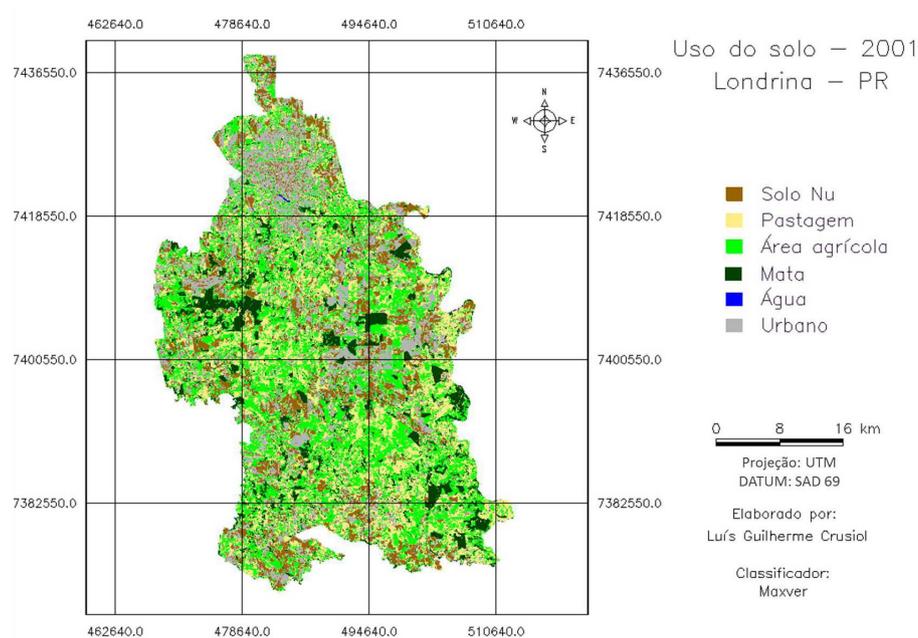


Figura 4 – Mapa de uso do solo do município de Londrina na safra 2001/2002.

Figure 4 – Land use map of Londrina in the 2001/2002 crop season.

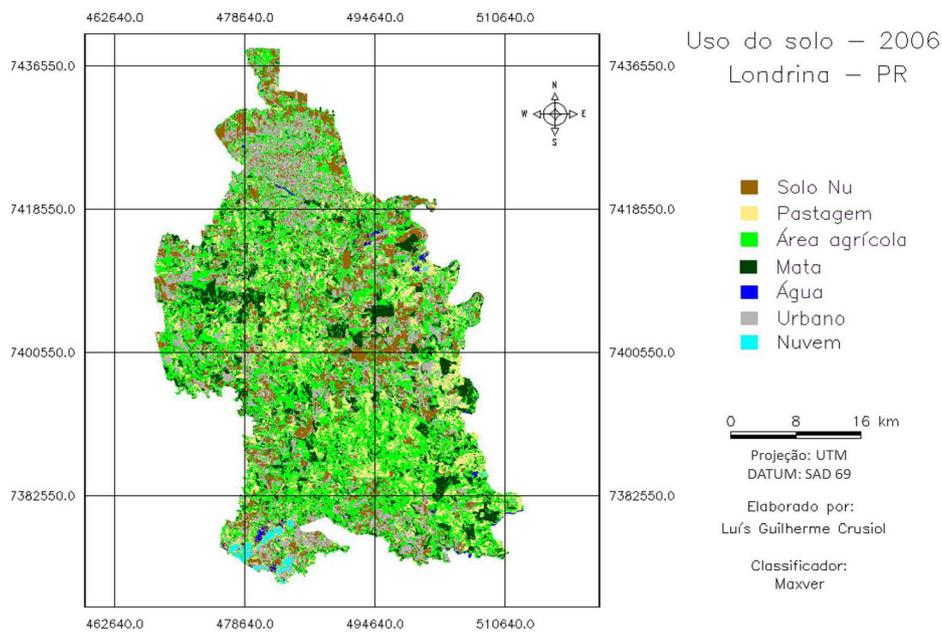


Figura 5 – Mapa de uso do solo do município de Londrina na safra 2006/2007.

Figure 5 – Land use map of Londrina in the 2006/2007 crop season.

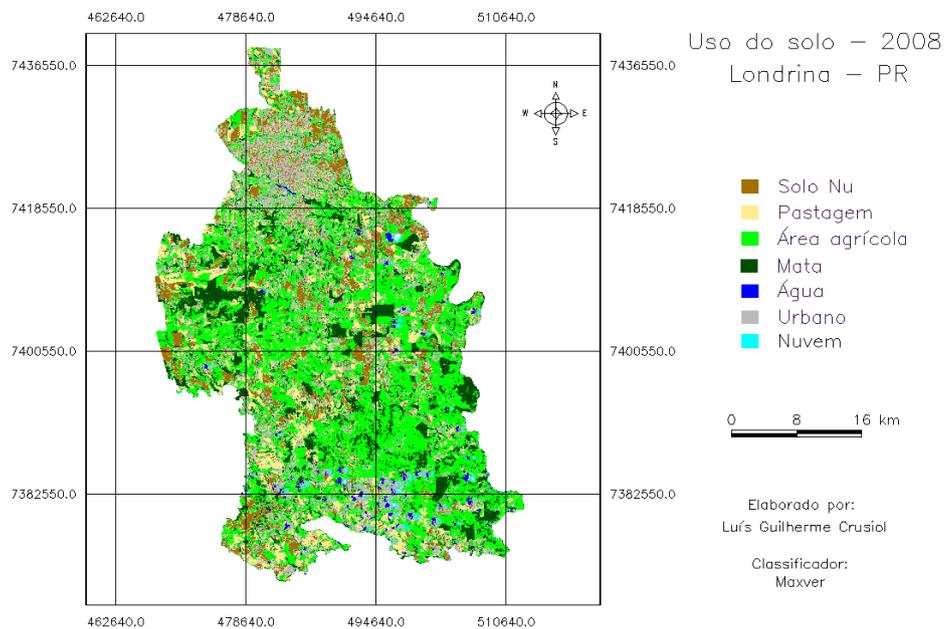


Figura 6 – Mapa de uso do solo do município de Londrina na safra 2008/2009.

Figure 6 – Land use map of Londrina in the 2008/2009 crop season.

Tabela 2 – Áreas, em hectare, agrícolas oficiais, áreas mapeadas por imagens de satélite e porcentagem de defasagem entra as duas bases de dados

Table 2 – Official agricultural areas in hectares, areas mapped by satellite image and percentage difference between the two databases

	Safrá				
	1998/1999	2000/2001	2001/2002	2006/2007	2008/2009
Café - Área Colhida (ha)	6.190	1.233	7.440	5.103	5.000
Milho - Área Colhida (ha)	18.300	21.700	13.616	15.000	21.420
Soja - Área Colhida (ha)	24.000	24.980	35.000	40.000	40.000
Outros - Área Colhida (ha)	3.463	3.706	5.501	6.309	4.684
Total - Área Colhida (há)	51.953	51.619	61.557	66.412	71.104
Mapeamento por imagem de satélite - Área agrícola (ha)	68.545	75.708	52.442	63.296	68.282
Defasagem entre dado oficial e mapeamento (área em ha)	16.592	23.089	-9.115	-3.116	-2.822
Defasagem em % entre dado oficial e mapeamento	31,93	44,72	-14,80	-4,69	-3,96

Tabela 3 – Valor de exatidão do produtor e usuário no processo de classificação e valor de desempenho geral

Table 3 – Value for producer and user accuracy of classification and value for general performance

	Safrá									
	1998/1999		2000/2001		2001/2002		2006/2007		2008/2009	
	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário								
Urbano	80,13	78,38	90,60	65,01	84,02	72,80	90,23	69,38	88,28	62,09
Mata	92,25	54,31	98,81	95,99	99,83	97,14	99,64	94,94	98,61	97,86
Cultura 1	70,56	84,61	80,84	74,25	78,27	97,50	90,00	91,00	96,64	95,36
Cultura 2	55,73	40,17	62,97	78,27	93,11	93,60	23,90	80,73	87,85	95,18
Cultura 3	-	-	82,07	94,22	-	-	77,41	71,38	-	-
Pastagem	80,61	89,32	73,25	89,55	91,17	90,83	73,42	83,30	90,72	96,31
Solo úmido	87,96	86,31	80,16	92,72	96,74	98,55	83,26	96,85	40,61	87,33
Solo seco	92,67	95,66	74,76	90,64	85,19	91,88	68,22	95,66	83,05	83,37
Água	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Nuvem	29,49	81,36	-	-	-	-	-	-	100	100
Desempenho Geral	72,11		86,92		95,02		87,69		90,08	

a 95% na safra 2001/2002. Houve desempenho pouco satisfatório, abaixo de 70%, da classe cultura 2, nas safras 1998/1999, 2000/2001 e 2006/2007.

Os coeficientes Kappa das cinco imagens classificadas estão apresentados na Tabela 4. Os valores de coeficiente Kappa obtidos são classificados, de acordo com Fonseca (2000), como razoável (safra 2000/2001), muito bom (safra 1998/1999) e excelente (safras 2001/2002, 2006/2007 e 2008/2009).

Rudorff *et al.* (2007) obtiveram valor de coeficiente Kappa para áreas de soja mapeadas por meio de imagens orbitais semelhantes ao obtido na safra 2000/20001 (0,358), havendo subestimação de 43,4% das áreas mapeadas em relação aos dados oficiais. No presente trabalho, houve superestimação ao contrário de subestimação.

Ainda com relação ao mapeamento de áreas de soja, Lamparelli *et al.* (2008) obtiveram coeficiente Kappa com

Tabela 4 – Coeficientes Kappa das imagens referentes à safras de verão sob análise

Table 4 – Kappa index of the images for the summer crop seasons under analysis

	Safrá				
	1998/1999	2000/2001	2001/2002	2006/2007	2008/2009
Índice Kappa	0,67	0,34	0,92	0,84	0,87

valores variando de 0,55 a 0,80. Nessa mesma linha, Gusso e Ducati (2012) obtiveram valores de coeficiente Kappa em torno de 0,76.

A dificuldade de precisão da metodologia utilizada pode estar relacionada a diferentes fatores, entre eles: baixa disponibilidade de imagens, problemas técnicos nas imagens (distorções visuais nas imagens e ocorrência de faixa não imageada), presença de nuvens, baixa resolução espacial, áreas agrícolas de pequena dimensão, erro do intérprete no momento da classificação, erro do classificador e dificuldade de obtenção de dados para safra de verão e inverno, separadamente.

Com relação à obtenção de dados seriados em safras de verão e inverno, o IBGE destaca que “subentende a possibilidade de cultivos sucessivos ou simultâneos (...) no mesmo ano e no mesmo local, podendo, por isto, a área informada da cultura exceder a área geográfica do município”.

Sugawara *et al.* (2008) destacam que a disponibilidade média anual de imagens Landsat para o estado do Paraná é baixa, devido à grande quantidade de problemas técnicos e intensa presença de nuvens, sobretudo no período de verão. Zhong *et al.* (2014), aplicando técnica de mapeamento de áreas de milho e soja, nos Estados Unidos, apontou a baixa disponibilidade de imagens Landsat com menos de 5% de cobertura por nuvem. Desse modo, compromete-se o acompanhamento sistemático da safra.

Outro fator que pode ter prejudicado a precisão do mapeamento é a resolução espacial do sensor utilizado (30 m)

para a escala de estudo. Esse fator foi apontado por Messias (2012) e Moreira *et al.* (2008). O município de Londrina é caracterizado por propriedades agrícolas não muito extensas, além de possuir morfologia do relevo acidentada em sua porção sul. Epiphanyo *et al.* (2010) apontou dificuldade de precisão de mapeamento de soja em áreas de pequena extensão. Assim, a acurácia do mapeamento de pequenas áreas produtoras pode ter sido diminuída pela dificuldade de identificar e mapear isoladamente os alvos agrícolas.

Na Tabela 5, são apresentadas as áreas das classes de uso do solo mapeadas por imagens de satélite no município de Londrina. Entre as safras 1998/1999 e 2000/2001, houve aumento de mais de sete mil hectares na área agrícola medida por satélite. Porém, observa-se que houve redução da área urbana em mais de sete mil hectares entre essas duas safras. Ou seja, o aumento de área agrícola entre as duas safras pode estar relacionado a problemas técnicos do classificador utilizado, uma vez que área urbana, raras as vezes, sofre diminuição. Esse mesmo contexto foi destacado por Messias (2012). Contudo, mesmo que erros técnicos tenham prejudicado o desempenho de mapeamento das áreas agrícolas na safra 2000/2001, o percentual de erro ainda seria bastante elevado.

O aumento acentuado na área referente a corpos hídricos (água) (Tabela 5) pode ser explicado pela confusão ocorrida com as sobras das nuvens, o que pode ser visualmente identificado a partir da Figura 5.

Rizzi e Rudorff (2003), em trabalho com soja no estado do Rio Grande do Sul, apontam que, em áreas de

Tabela 5 – Área das classes de uso do solo mapeadas por imagens de satélite no município de Londrina

Table 5 – Area of land use class in the town of Londrina, mapped by satellite image

	Área (ha)				
	1998/1999	2000/2001	2001/2002	2006/2007	2008/2009
Urbano	27295	20076	32074	31993	32918
Água	399	73	141	738	1586
Mata	16244	16781	16607	20229	23436
Área agrícola	68545	75708	52442	63296	68282
Pastagem	32374	35164	41085	24609	20313
Solo	19954	17009	22462	23014	17413
Nuvem	0	0	0	932	786

aproximadamente 40.000 ha semeados com soja (área semelhante às safras 2006/2007 e 2008/2009), o percentual de defasagem entre dados oficiais e aqueles medidos por imagens Landsat é de 0,6%. Já em áreas de menor extensão, a defasagem pode chegar a 1110,6%. Os dados apontam que a defasagem aumenta, de forma geral, com a diminuição da área em análise. Esse comportamento foi observado, de modo geral, no presente trabalho.

Em trabalho semelhante, Rizzi e Rudorff (2005) observaram defasagens entre áreas de soja, obtidas por dados oficiais e imagens Landsat de até 6.369%. Em áreas de aproximadamente 25.000 ha (valores ocorridos nas safras 1998/1999 e 2000/2001), observaram defasagens que variam de subestimação de até 36,3% de área a superestimação superior a 17%. Em áreas de aproximadamente 40.000 ha (valores ocorridos na quarta e quinta safra), os referidos autores observaram superestimação de até 40% das áreas de soja.

Berka e Rudorff (2003), realizando o mapeamento de soja a partir de imagens Landsat em municípios do norte do estado do Paraná, apontam para superestimação dos valores mapeados com relação aos fornecidos por órgãos governamentais em 14,8%, em áreas com 25.000 ha, área semelhante à de soja nas duas primeiras safras em análise no presente trabalho. Os referidos autores apontam ainda a dificuldade de realizar mapeamento da cultura da soja em áreas de pequena extensão.

Medeiros *et al.* (1996), mapeando a cultura da soja e do milho em diferentes municípios, cujas áreas totalizam, respectivamente, 54.500 e 53.918 ha, observaram valores bastante discrepantes em relação aos dados oficiais: subestimação de 25 e 54% da área de soja e milho, respectivamente.

Antunes *et al.* (2012), a partir de mapeamento de áreas de soja em escala municipal, utilizando imagens Landsat e classificador Maxver, obtiveram, dependendo do município,

valores subestimados em até 40% e superestimados em até 34%, em relação aos dados oficiais. No mesmo sentido, Lamparelli *et al.* (2008) utilizaram imagens Landsat para realizar o monitoramento da semeadura da cultura da soja. Os resultados obtidos apontam para subestimação de 30% das áreas quantificadas em relação aos dados oficiais. Por outro lado, Gusso e Ducatti (2012), por meio da utilização de algoritmo aplicado ao processamento de imagem, obtiveram boa correlação entre áreas de soja mapeadas por meio de imagens Landsat e áreas oficiais.

Os referidos autores apontam sempre para a subestimação de áreas de milho mapeadas, podendo chegar até 96% em área de aproximadamente 15.000 ha (área semelhante às safras 1998/1999, 2001/2002 e 2006/2007). Com relação à cultura da soja, os autores observaram tanto superestimação das áreas medidas por imagens Landsat, chegando a 69%, quanto subestimação, chegando a 46%. Em área de 32.500 ha, semeados com soja (valor próximo à safra 2001/2002), os autores observaram subestimação de 43%.

CONCLUSÕES

O mapeamento e quantificação de áreas agrícolas a partir de imagens Landsat foram pouco precisos; Embora os dados obtidos não sejam contrários à literatura, é possível obter melhores resultados desde que seja realizado o acompanhamento multitemporal das culturas agrícolas e que haja diferentes imagens com qualidade adequada de uso para mesma safra;

A utilização de outros classificadores de imagens e maior número de imagens pode contribuir positivamente para a identificação de áreas agrícolas. Faz-se necessário, também, a obtenção de dados referentes às culturas agrícolas seriados em safra de verão e inverno.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ANTUNES, J. F. G.; MERCANTE, E.; ESQUERDO, J. C. D. M.; LAMPARELLI, R. A. de C.; ROCHA, J. V. Estimativa de área de soja por classificação de imagens normalizada pela matriz de erros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1288-1294, 2012.

ARASATO, L. S.; SANTOS, J. R. dos; MALDONADO, F. D.; AMARAL, S.; RENNÓ, C. D. Detecção de mudança da paisagem a partir de análise multissensor e multitemporal em associação com variáveis geomorfológicas no domínio da floresta atlântica. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64/4, p. 475-486, 2012.

BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R.L. Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro: o caso de Teofilândia. **Revista de Geografia Grande Norte**, v. 49, p. 139-155, 2011.

BERKA, L. M. S.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa de área plantada com soja através de imagens Landsat em municípios do norte do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 27-31.

- CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CELINSK, T.; ZIMBACK, C. R. L. Discriminação de classes de cobertura vegetal utilizando técnicas de classificação digital de imagens de sensoriamento remoto. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 1, p. 152-170, 2010.
- CHAVEZ Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Café, primeiro levantamento, janeiro, 2014/** Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: Conab, 2014. Disponível em: <www.conab.gov.br>.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, décimo levantamento, julho, 2015/** Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <www.conab.gov.br>.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** New York: Lewis Publishers, 1999, 137p.
- CROSTA, Á., P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Ed. rev, 4ª reimpressão – Campinas, SP: IG/UNICAMP, 2002, 170 p.
- EPIPHANIO, R. D. V.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; MAEDA, E. E.; LUIZ, A. J. B. Estimating soybean crop areas using spectral-temporal surfaces derived from MODIS images in Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 72-80, 2010.
- ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO JUNIOR, J.; ANTUNES, J. F. G. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 13, p. 3711-3727, 2011.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61/02, p. 117-127, 2009.
- FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 105 p.
- GUSSO, A.; DUCATTI, J. R. Algorithm for soybean classification using medium resolution satellite images. **Remote Sensing**, v. 4, p. 3127-3142, 2012.
- IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. 2014. Disponível em <http://www.iapar.br/>. Acesso em 28 jul. 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.com.br>.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens. Disponível em: <www.dgi.inpe.br/CDSR>.
- IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Caderno estatístico do município de Londrina. 2015. Disponível em: <www.ipardes.pr.gov.br>.
- KNORN, J.; RABE, A.; RADELOFF, V. C.; KUEMMERLE, T.; KOZAK, J.; HOSTERT, P. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 957-964, 2009.
- LAMPARELLI, R. A. C.; CARVALHO, W. M. O. de; MERCANTE, E. Mapeamento de semeadura de soja mediante dados MODIS/TERRA e TM/LANDSAT 5: um comparativo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 334-344, 2008.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation.** Sixth edition, United States of America, 2007, 756p.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** 4. ed. – Editora UEPG, 2012, 526p.
- 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. (SBSR), Salvador. Anais... São José dos Campos: INPE, 1996. p. 33-38.
- MENDONÇA, J. F. B. **Solo, Substrato da vida.** 2. ed – EMBRAPA informação tecnológica, Brasília, 2010. 129p.
- MENK, A. B.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, É, de S. M.; OLIVEIRA, S. N. de. Análise das mudanças de uso da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA – BRASIL). **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 315-326, 2009.

MESSIAS, C. G. Análise comparativa entre o mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal utilizando imagens de média e alta resolução espacial. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1230-1243, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4.ed. – Editora UFV, 2011. 422 p.

MOREIRA, M. A.; BARROS, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Geotecnologias no mapeamento da cultura do café em escala municipal. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 1. p. 101-110, 2008.

POTGIETER, A. B.; POWER, B.; MCLEAN, J.; DAVIS, P.; RODRIGUEZ, D. Spatial estimation of wheat yields from Landsat's visible, near infrared and thermal reflectance bands. **International Journal of Remote Sensing Applications**. v. 4, p. 134-143, 2014.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa de área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 57/03, p. 226-234, 2005.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens Landsat na estimativa da área plantada com soja em municípios do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 231-238.

RUDORFF, C. de M.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M.; VIEIRA, C. A. O. Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 118-125, 2007.

SUGAWARA, L. M.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M. Viabilidade de uso de imagens do Landsat em mapeamento. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 43, n. 12, p. 1777-1783, 2008.

ZHONG, L.; GONG, P.; BIGING, G. S. Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: A multi-year experiment using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, p. 1-13, 2014.