

Uso de técnicas de geoprocessamento aplicadas ao mapeamento da cultura de cana-de-açúcar com imagens *Landsat-8* no estado do Paraná

Clóvis Cechim Júnior¹
Rennan Andres Paloschi¹
Jerry Adriani Johann¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Caixa Postal 0701- 85819 -110 - Cascavel - PR, Brasil
{juniorcechim, jerry.johann}@hotmail.com, {rennan_paloschi}@yahoo.com

Abstract. The sugarcane production in Brazil stands out of world's largest ethanol producer. The Paraná State is the 5th largest producer of this crop in Brazil, representing 7.7% of national production. Thus, this study aimed to map and estimate area of sugarcane in the Paraná State in crop year 2013/2014, with digital image classification techniques of Landsat-8. The data vectors with the demarcations of Paraná State were obtained from ITCG and IBGE. Official agricultural statistics were generated with certain subjectivity. A low cost alternative which allows knowing the spatial distribution of crops is use of satellite images and applying digital image processing techniques (Parallelepiped, Spectral Angle Mapper and Maxver). These procedures typically show results with high spatial accuracy when compared to the real crops condition. To evaluate the accuracy of classification, we determined the overall accuracy and kappa index on a color composite RGB456 from the OLI/Landsat-8 sensor. The results showed excellent accuracy for mapping the cane sugar with the ground truth with an overall accuracy of 94%, and, a kappa index of 0.89. In relation to official data, the data obtained by mapping presented a correlation than 0.75, with 14.6% more area and refined correlation coefficient of Willmott (dr) of 0.85.

Palavras-chaves: remote sensing, estimate crop, image processing, agricultural statistic, Landsat, sensoriamento remoto, estimativa de safras, processamento de imagens, estatística agrícola, Landsat.

1. Introdução

O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil terá um acréscimo na área de cerca de 286,6 mil hectares (ha) na safra de 2014/2015, ou seja, um acréscimo de 3,3% em relação à safra 2013/2014. Este acréscimo é reflexo do aumento de área de 4,1% na região Centro-Sul. Os estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Minas Gerais apresentaram o maior aumento em áreas por hectare (CONAB, 2014).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), o Estado do Paraná produziu em média nos últimos 5 anos (2008 a 2012) cerca de 49.257 milhões de toneladas de cana ao ano.

A metodologia usada atualmente para previsão de safras das culturas agrícolas no Brasil é extremamente dependente de informações subjetivas, o que pode acarretar certa imprecisão quando comparado com a realidade.

A estimativa da produção é um dos dados mais importantes para planejar o setor público e para a iniciativa privada. O monitoramento de áreas agrícolas e estimativas com o uso de sensoriamento remoto e geotecnologias podem contribuir de forma significativa para obtenção de metodologias eficientes e de baixo custo, principalmente o Brasil, que possuem grande extensão territorial (MORAES, 2012).

O mapeamento bem como o monitoramento da cultura de cana-de-açúcar utilizando dados matriciais por meio de imagens *Landsat-8*, associado a dados vetoriais, permite a viabilização do monitoramento da cultura, o que permite diminuir a subjetividade na determinação das estimativas e previsão das safras agrícolas.

Desta forma, uso de técnicas de geoprocessamento associadas ao sensoriamento remoto, tem sido muito utilizadas para mapeamento e monitoramento de culturas agrícolas, visando diminuir a subjetividade na forma de coleta de dados oficiais. Isto é possível em função de que o uso destas geotecnologias permitem discriminar alvos da superfície terrestre, como as culturas agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento e estimar a área de cana-de-açúcar no estado do Paraná para o ano-safra 2013/2014 por meio de técnicas de geoprocessamento com imagens do satélite *Landsat 8* sensor *Operational Land Imager* (OLI).

2. Materiais e Métodos

A área de estudo compreende o estado do Paraná, na região Sul do Brasil, situado entre os paralelos 22° 29' S e 26° 43' S e os meridianos 48° 2' W e 54° 38' W (Figura 1). É constituído de 399 municípios, entretanto, nem todos os municípios possuem cultivo de cana-de-açúcar. Os dados oficiais de área colhida (ha) da cultura de cana-de-açúcar de acordo com dados do (IBGE, 2014) entre os anos de 2008 e 2012 mostram que a maior parte da área da cultura do estado situam-se nas regiões Noroeste, Norte Central e Norte Pioneiro (Figura 1).

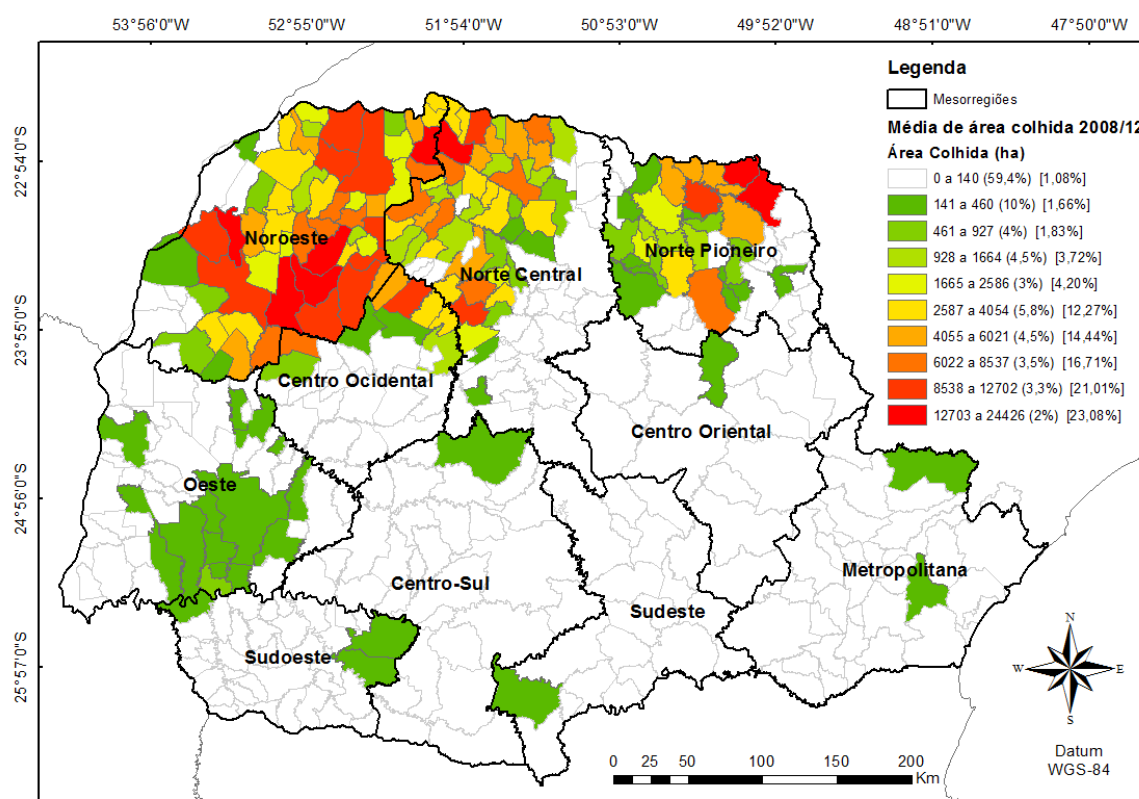


Figura 1. Mapa da média de área cultivada com cana-de-açúcar entre 2008 e 2012 no estado do Paraná. Valores entre parênteses representam a proporção de municípios do estado com a cultura dentro de cada classe de área colhida (ha) do mapa. Valores entre colchetes representam a proporção de área da cultura dentro de cada classe de área colhida (ha) do mapa.

Fonte: IBGE (2014).

Para o mapeamento e estimativa de área colhida desta cultura, foram utilizadas imagens do satélite *Landsat-8*, sensor OLI, de resolução espacial de 30 metros. Foram geradas composições de imagem RGB564, ou seja, falsa-cor, compreendidas entre agosto de 2013 e agosto de 2014. Em seguida, elaborou-se um mosaico destas imagens (Tabela 1).

Para as imagens com mesmas datas (Tabela 1) foi criado um mosaico destas imagens para aplicação dos métodos de classificação. Já para as imagens com diferentes datas este procedimento foi executado individualmente.

Tabela 1. Imagens do satélite *Landsat-8*, sensor OLI utilizadas para elaboração do mapeamento.

Data	Órbita/Ponto
30-01-2014	220/077
30-01-2014	220/078
26-05-2013	221/076
24-04-2013	221/077
01-08-2014	221/078
01-05-2013	222/076
01-05-2013	222/077
24-08-2014	222/078
22-04-2013	223/076
22-04-2013	223/077
14-07-2014	223/078
06-08-2014	224/077
06-08-2014	224/076
21-07-2014	224/078

Foi aplicado um realce de imagem com o contraste linear de 2% e o filtro *sharpen* 18 nos mosaicos de cada cena em sua respectiva órbita/ponto separadamente antes da classificação, com a finalidade de realçar a informação espectral e melhorar o contraste das imagens.

Para a elaboração do mapeamento foram adquiridas varias amostras distribuídas por todas as imagens sendo coletados cerca de 40000 pixels para cada uma das orbitas pontos das imagens *Landsat-8* com uma porcentagem de cobertura de nuvem inferior a 10%.

Foram testados como classificadores supervisionados: *Parallelepiped*, *Spectral Angle Mapper* e *Maxver*.

Após a classificação das imagens, estas foram mosaicados, e testadas técnicas de pós-classificação para remover *pixels* isolados e que contaminaram a mascara devido à confusão com outras classes de uso do solo. Dentre as opções de pós-classificação disponíveis no programa Envi a função “*sieve*” permite a homogeneização do resultado de classificação com procedimentos de filtragem o que consiste em um peneiramento que possibilita eliminar classes adjacentes a fim de remover *pixels* classificados erroneamente.

O resultado de cada simulação foi confrontado, por meio de interpretação visual, com os mosaicos de imagens *Landsat-8*/ OLI (referência terrestre), que, nas composições coloridas de falsa cor, permitem identificar as áreas com as culturas de cana (cor rosa, laranja ou vermelha, Figura 2).

De acordo com Barbetta (2007) a fórmula para determinar o numero de amostras em função do número de pixels a um nível de confiança de 95% é dado pela Equação 1:

$$n = \frac{N * \left(\frac{1}{(E_0)^2} \right)}{N + \left(\frac{1}{(E_0)^2} \right)} \quad (1)$$

em que:

E_0 = erro amostral tolerável;

N = tamanho da população;

n = tamanho da amostra.

Para a obtenção do erro amostral foram sorteados de forma aleatória 400 pontos, sendo que destes 200 foram sorteados sobre o alvo cultura cana, e os outros 200 foram sorteados sobre o alvo não cultura, se tratando de uma amostragem aleatória estratificada.

Para a validação da máscara gerada por meio de exatidão espacial (acurácia), foram usados o índice de exatidão global (EG), o índice de concordância *Kappa* (IK) e os erros de inclusão (EI) e Omissão (EO) (CONGALTON, 1991; CONGALTON e GREEN, 1999).

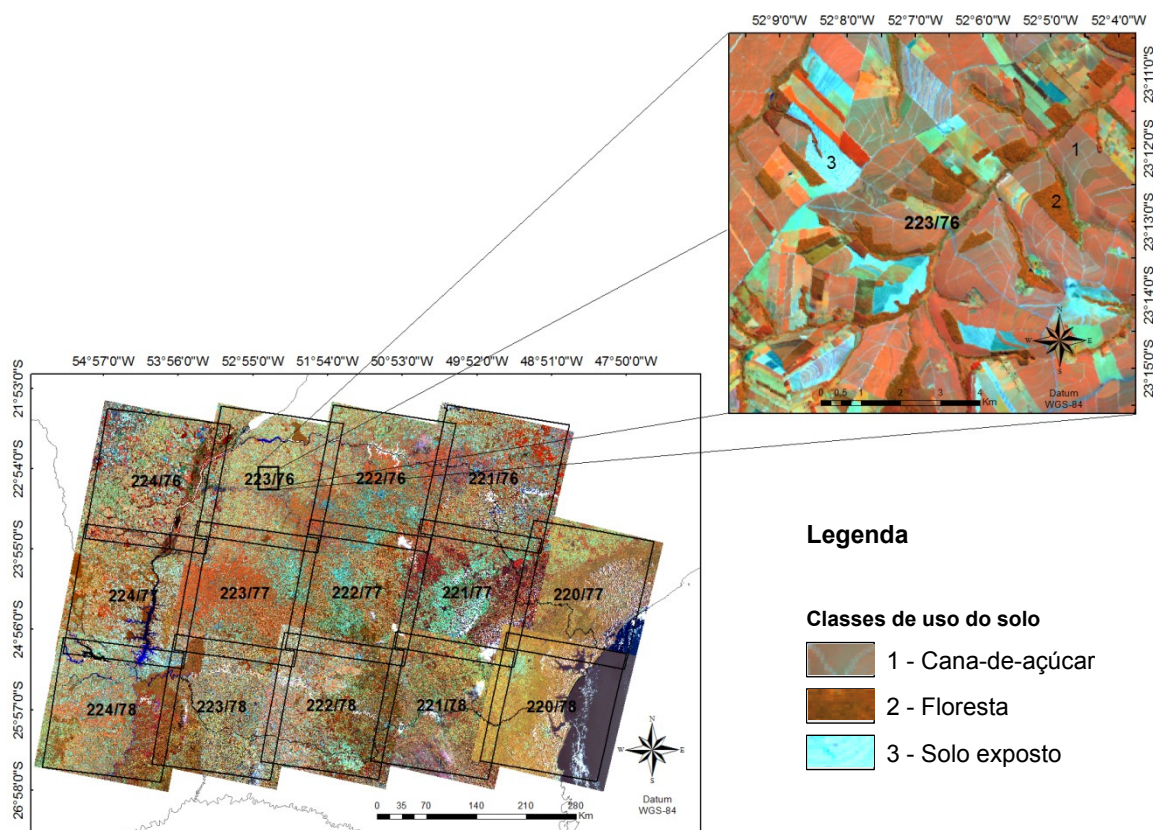


Figura 2. Mosaico de imagens *Landsat*-8, para os anos de 2013 e 2014, no Estado do Paraná.

A extração das áreas com a cultura de cana-de-açúcar (áreas verdes, Figura 3), foi realizada com um sistema de extração de dados, programada em linguagem IDL (Esquerdo *et al.*, 2011). Este sistema gera a estimativa de área municipal, contando-se a quantidade de pixels dentro de cada município, identificada na máscara como cultura de cana-de-açúcar, que em seguida é multiplicada pela área de cada pixel, ou seja, para imagens *Landsat* ($30 \times 30 \text{ m} = 900 \text{ m}^2$).

Estas informações de área municipal, obtidas para o ano safra 2013/2014, foram confrontadas com os dados municipais oficiais de área colhida, disponibilizados na produção agrícola municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014). A comparação se deu por meio coeficiente de correlação (r), coeficiente de concordância refinado de Willmott *et al.*, (2012) (dr), raiz do erro médio quadrático (*Root mean square error* - RMSE) e pelo erro médio (*Mean error* - ME).

3. Resultados e Discussão

No estado do Paraná a uma concentração do cultivo cana-de-açúcar nas regiões Noroeste, Norte Central e Norte Pioneiro. Constatou-se que 59,4% dos municípios, ou seja, mais da metade do estado tem em média área menor que 140 ha (Figura 1) e

também representa apenas 1,08% (Figura 1) da área de cana-de-açúcar do Paraná. Em contrapartida, os municípios que possuem maior área cultivada (> 6.022 ha) representam 60,8% da área de cana-de-açúcar do estado, porém, correspondem a apenas 8,8% dos municípios paranaenses (Figura 1).

Para geração da máscara da cultura de cana-de-açúcar para no estado do Paraná, para o ano-safra 2013/2014, com base em imagens *Landsat-8*, dentre os vários classificadores e dentre as simulações de aplicação do procedimento de pós-classificação para remoção de pixels isolados denominada de filtragem *Sieve classes*, o melhor resultado foi encontrado com a classificação supervisionada *Maxver*, já que definiu melhor o alvo de interesse, separando a cultura de cana-de-açúcar em relação aos carregadores que são muito frequentes neste tipo de cultura (Figura 2).

O classificador que apresentou melhor resultado, avaliado visualmente foi de Máxima verossimilhança (*Maxver*), classificador este usado para a geração do mapeamento da cultura de cana-de-açúcar.

Dentre os limiares de probabilidade testados o valor de 0,85 foi o que apresentou melhor resultando para o classificador de *Maxver*, quanto ao procedimento de pós-classificação denominado *Sieve* a parametrização com melhor resultado foi de 50 para o grupo de limiar mínimo e 8 para o numero de vizinhos mais próximos, o procedimento consistiu em limpar as contaminações provenientes da cultura de cana com outras culturas e determinados tipos de pastagens, além de remover pixels isolados não constituídos por cana.

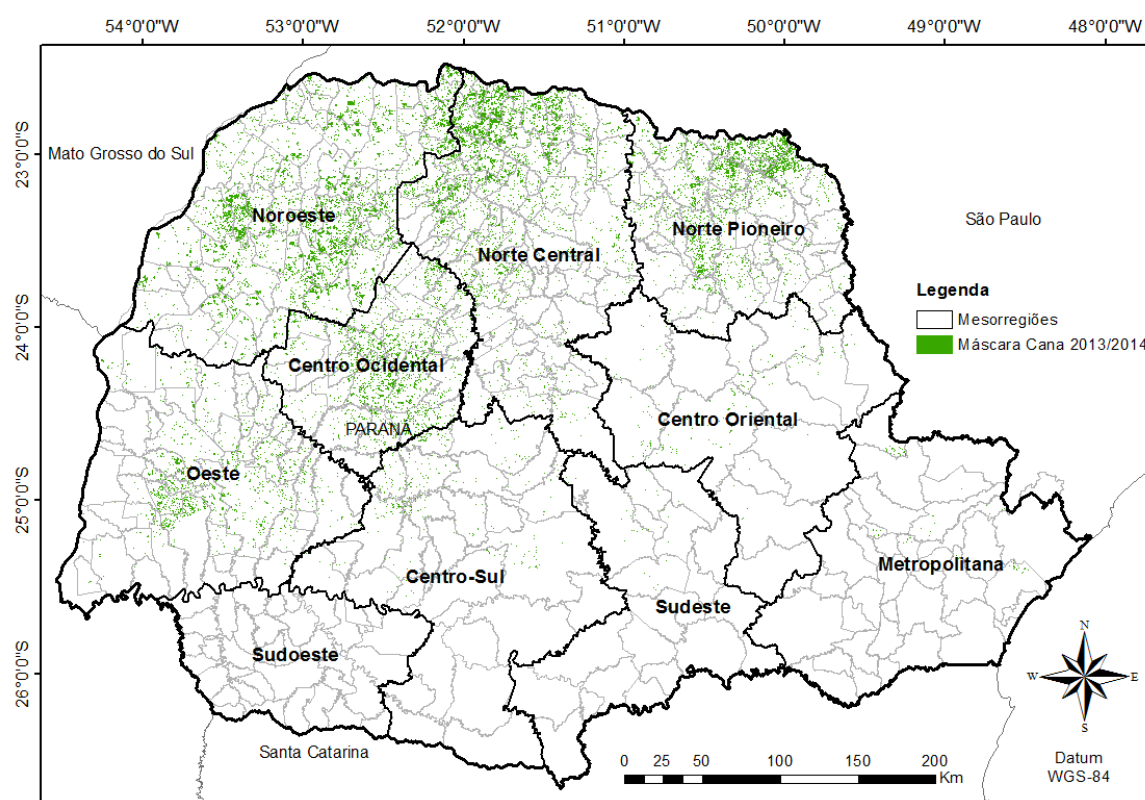


Figura 3. Mapa do mapeamento *Landsat-8* para a cultura de cana-de-açúcar, no Paraná: safra 2013/2014.

O mapeamento da cana-de-açúcar (Figura 3) evidencia a distribuição espacial entre as mesorregiões Noroeste, Norte Pioneiro e Norte central, corroborando com o que foi apresentado na Figura 1. Observa-se que de forma geral, boa parte está localizada próxima aos limites do estado de São Paulo. Fora isto, nas demais regiões observa-se baixa

densidade de áreas de cana-de-açúcar, com exceção para a mesorregião Oeste com certa de 10% de seus municípios apresentando uma área colhida de 141 a 460 ha em média nos últimos 5 anos.

Também foi encontrado no mapeamento regiões de cana-de-açúcar, mesmo que em pequena quantidade, em algumas regiões como a oeste do estado do Paraná, o que superestimou áreas obtidas por meio de imagens *Landsat*. Com relação à área estimada com o mapeamento *Landsat*-8 em todo o estado do Paraná (762,705 ha) está foi superior à área segundo dados oficiais IBGE (655,509 ha) para o ano safra 2013/2014, já comparado com a média entre os anos de 2008 e 2012 a área colhida foi de (622,623 ha) apresentando uma diferença um pouco mais significativa em relação ao mapeamento.

Em termos de percentual a área estimada por mapeamento foi 14,6% superior aos dados oficiais para o ano safra 2013/2014, entretanto, para a média de área colhida este percentual foi ainda maior com cerca de 19%.

Na confrontação dos dados obtidos com o mapeamento *Landsat* e os dados oficiais, encontrou-se um coeficiente de correlação de 0,75 (Figura 4). Uma provável explicação para isto pode ser o fato de que muitas áreas não foram quantificadas a nível municipal pelo IBGE.

Também foi encontrado no mapeamento regiões de cana-de-açúcar, mesmo que em pequena quantidade, em algumas regiões como a oeste do estado do Paraná, o que superestimou áreas obtidas por meio de imagens *Landsat*.

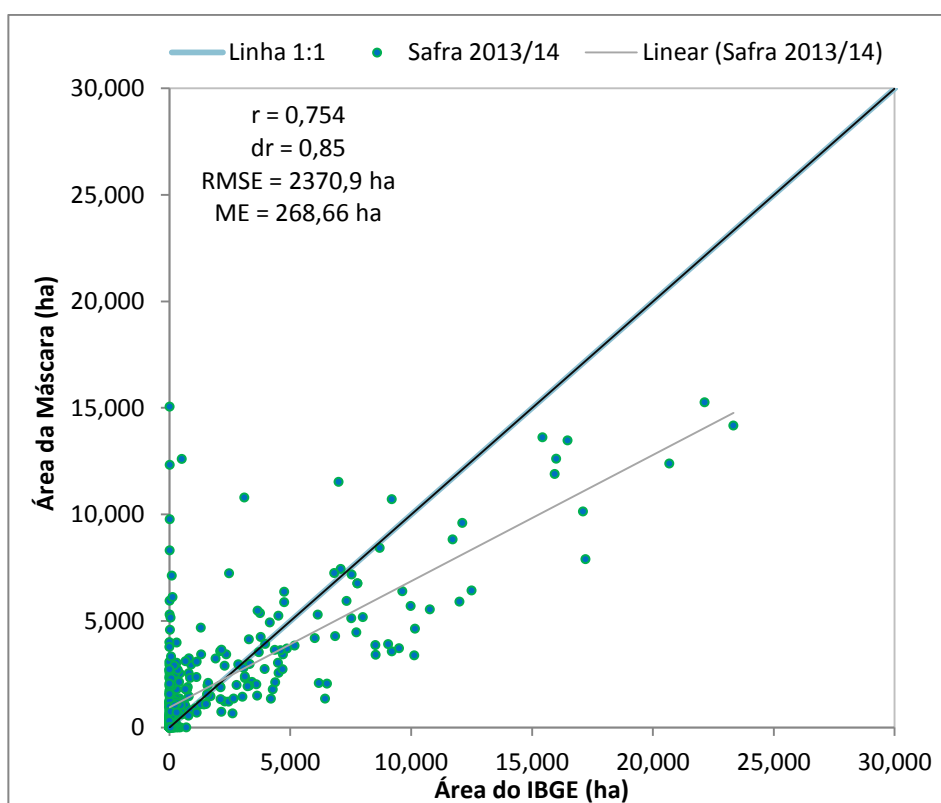


Figura 4. Relação entre a área plantada de cana-de-açúcar do IBGE e da máscara *Landsat*, nível municipal: safra 2013/2014.

O coeficiente de concordância refinado de Willmott (dr) foi usado como uma medida de distâncias dos valores na dispersão dos dados correlacionados em torno da reta 1:1 (Figura 4). Indica o grau de afastamento dos valores estimados em relação aos observados, ou seja, mede a exatidão entre o mapeamento da cultura de cana-de-açúcar em comparação com os dados oficiais (IBGE). O índice de concordância refinado (dr) obtido foi de 0,85 indicando um bom desempenho, porém não se pode inferir que houve uma alta

exatidão entre as estimativas de área colhida de cana-de-açúcar do IBGE e do mapeamento obtido por imagens *Landsat-8* em virtude da superestimação observada pelo mapeamento.

A raiz do erro médio quadrático (RMSE) evidenciou que houve uma variação média municipal de 2.371 ha (2013/2014). Já Pelo Erro médio (ME), constatou-se que a estimativa de área obtida no mapeamento com imagens *Landsat-8* foi superestimada em média em 268,66 ha, em relação à área do IBGE para a safra 2013/2014.

Na análise da acurácia espacial do mapeamento, verificou-se que dentre as 400 amostras usadas na distribuição aleatória, que 379 amostras foram corretamente classificadas, o que gerou uma exatidão global (EG) de 94,75%. Para o índice *Kappa* (IK), que incorpora as amostras classificadas de forma correta ou incorreta, obteve-se IK de 0,895, o que de acordo com Landis e Koch (1977) é um excelente acurácia de mapeamento. Disto, pode-se inferir que a máscara de cultura de cana-de-açúcar obtida aproximou-se da verdade terrestre.

4. Conclusão

O uso de imagens *Landsat-8* possibilitou o mapeamento e estimativa de áreas cultivadas com cana em escala municipal, do Estado do Paraná.

A utilização do mosaico de imagens *Landsat-8* pode ser usada para mapeamento de cana desde que as imagens utilizadas para a mosaicagem sejam entre datas próximas, e que não se aproximem das datas de colheita de cana que são em geral datadas no mês de setembro de cada ano, atingindo seu pico vegetativo em março.

Porém para um resultado com maior precisão sugere-se que a classificação seja feita em cada cena, ou seja, para cada órbita/ponto devido a diferentes informações espectrais e aspectos de cor presentes nas imagens ou devido a sua aquisição ser feita em datas diferentes o que influencia no resultado do classificador, desta forma as amostras devem ser coletadas para cada imagem, se houver imagens com mesma data pode ser gerado um mosaico o que permite otimizar tempo quanto a coleta de amostras e a classificação.

Na validação da máscara por meio dos índices de acurácia estes apresentaram ótimos ajustes e excelente acurácia espacial.

As estimativas de área plantada de cana-de-açúcar obtida pelo classificador *Maxver* mostraram uma moderada correlação e concordância com a estimativa oficial usada como referência proveniente do IBGE, tanto nas mesorregiões, como a nível municipal.

O desempenho do classificador *Maxver* está extremamente relacionado com a caracterização da distribuição geográfica da cana-de-açúcar no estado do Paraná, apresentando melhor desempenho em regiões com áreas de maior produção.

5. Agradecimentos

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, Embrapa Agropecuária Informática e Fundação Araucária pelo apoio financeiro, ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) pela oportunidade bem como ao Laboratório de Estatística Aplicada (LEA) da UNIOESTE/Campus Cascavel, pela infra-estrutura disponibilizada para realizar este trabalho.

Referências Bibliográficas

BARBETTA, P. A. *Estatística aplicada às ciências sociais*. Florianópolis. UFSC, 2007. 316 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra2014/2015**, Segundo levantamento, ago. 2014, Brasília, p. 1 - 18. 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Geosafra**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/geotecnologia/html_geosafra/geosafra.html>. Acesso em: 10 ago. 2014.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton: CRC Press, 1999. 160 p.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, p.35-46, 1991.

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, p.3711-3727, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agregados: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2014.

LANDIS, J.R.; KOCK, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159 - 174, 1977.

MORAES, Rafael. Aldighieri. **Monitoramento e estimativa da produção da cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de dados espectrais e agrometeorológicos**. Tese de doutorado. UNICAMP. São Paulo. 2014. 115 p.

WILMOTT, C. J.; ACKELESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.