

## Estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso Usina Catanduva

Michelle Cristina Araujo Picoli<sup>1</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>  
Rodrigo Rizzi<sup>2</sup>  
Fernando José Von Zuben<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{michelle, bernardo}@ltid.inpe.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas - UFPel/FAEM  
Caixa Postal 354 - 96010-900 - Pelotas - RS, Brasil  
Rodrigo.rizzi@ufpel.edu.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEEC  
Caixa Postal 6101 - 13083-852 - Campinas - SP, Brasil  
vonzuben@dca.feec.unicamp.br

**Abstract.** The economic relevance of sugarcane crop to provide raw material to produce alcohol as an energy alternative has grown much. Therefore, precise information on sugarcane production is important to adequately meet the growing demands of alcohol. The present work has the objective to estimate sugarcane yield in the Catanduva Plant using quantitative and qualitative variables in a combining Artificial Neural Networks (ANN) model or ensembles. One of the quantitative variables of this model was estimated through an agronomic-spectral model. This model uses several meteorological and agronomic variables being one of them the leaf area index (LAI) whose values were estimated for each sugarcane field, from the MODIS NDVI images acquired during the period of intense crop growth.

**Palavras-chave:** agronomic-spectral model, ensemble model, sugarcane, modelo agrônômico-espectral, modelo *ensemble*, cana-de-açúcar.

### 1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma gramínea que possui grande importância econômica para o Brasil por fornecer a matéria prima para a produção de açúcar e de álcool, além de exercer um papel relevante tanto no mercado interno quanto externo. O Estado de São Paulo responde por cerca de 60% de todo o açúcar e álcool produzido no País, além de representar 70% das exportações nacionais de açúcar (UNICA, 2004).

A produção de açúcar e de álcool depende da quantidade de matéria prima disponível que por sua vez depende: da área plantada; da produtividade agrícola; e do açúcar total recuperável (ATR). Destes três fatores o mais complexo de ser estimado é a produtividade agrícola, pois depende de uma série de fatores relacionados a aspectos agrônômicos e meteorológicos. Neste contexto, a estimativa de produtividade agrícola tem importância para o planejamento estratégico das empresas a fim de prever o quanto da produção será processada e armazenada e a tomada de decisão sobre a comercialização dos produtos finais.

Nas usinas de cana-de-açúcar, as estimativas da produtividade agrícola são feitas geralmente por técnicos que percorrem os canaviais observando o desenvolvimento das plantas. Esta maneira subjetiva de se estimar a produtividade é passível de manipulação e não permite uma análise do erro.

Um modelo de estimativa da produtividade utilizando dados agrônômicos, meteorológicos e de sensoriamento remoto já foi utilizado anteriormente (Rudorff, 1985; Rudorff e Batista, 1990 e 1991; Rudorff et al., 1995; Berka et al., 2003; Rizzi, 2004), mas o seu potencial ainda não foi amplamente explorado. Em especial, no que diz respeito ao emprego de variáveis qualitativas em uma estrutura de Agregados de Redes Neurais Artificiais (RNA) ou *ensembles* (Hansen e Salamon, 1990).

Deste modo, o objetivo deste trabalho é estimar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar em escala de talhão utilizando variáveis quantitativas, qualitativas e espectrais em um modelo *ensemble* para as safras 2004/05 e 2005/06.

## 2. Materiais e Método

O estudo compreende a área de abrangência da Usina Catanduva, localizada na região centro-norte do estado de São Paulo, envolvendo 21 municípios.

Os dados meteorológicos utilizados foram: temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); velocidade do vento a 2 metros de altura ( $\text{km dia}^{-1}$ ); umidade relativa do ar (%); radiação ( $\text{W m}^{-2}$ ) e precipitação pluvial ( $\text{mm dia}^{-1}$ ). São necessários, ainda, dados referentes à altitude e à capacidade de armazenamento de água dos solos (CAD). Para as safras de 2004/05 e de 2005/06, nos meses de outubro a março.

Para definir esse período no qual o modelo agrônômico-espectral deveria estimar a produtividade foi feita uma análise da variação dos valores de NDVI do sensor MODIS ao longo do ano. Para tanto, foi selecionado um conjunto de amostras aleatórias de aproximadamente 15% dos talhões de cada ano safra. E, notou-se que os valores de NDVI começam a aumentar com o início das chuvas em setembro/outubro e tendem a estabilizar em março/abril quando a colheita é iniciada. Ou seja, este é o período de maior acúmulo de biomassa pela cultura. Assim, decidiu-se calcular a produtividade pelo modelo agrônômico-espectral para o período compreendido entre a primeira quinzena de outubro e a segunda quinzena de março.

A primeira parte do trabalho que envolve o modelo agrônômico-espectral foi baseada no modelo proposto inicialmente por Doorembos e Kassam (1979) e implementado por Berka et al. (2003) no SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas). No presente trabalho o modelo foi adaptado para a cultura da cana-de-açúcar.

O modelo é executado com uma resolução espacial de 250 m, para ser compatível com a resolução espacial das imagens MODIS. Para os dados meteorológicos foram geradas grades regulares de 250 x 250 m, sendo que o modelo calcula a produtividade para cada pixel a cada 15 dias. A soma dos cálculos quinzenais é o valor da produtividade final da safra.

Como variável espectral foi utilizada imagens do sensor MODIS (MOD13Q1) sob a forma de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), com composição de 16 dias e resolução espacial de 250 metros.

A produtividade final estimada pelo modelo agrônômico-espectral foi utilizada como variável de entrada no modelo *ensemble*.

Na segunda parte do trabalho que se refere à confecção do modelo *ensemble*, os dados das duas safras serão agregados e irá separar-se um conjunto com 80% dos dados para treinar, selecionar, validar e testar os *ensembles*. Os 20% restantes serão utilizados para testar e avaliar os melhores *ensembles*.

Nesta etapa foi feito um estudo para comparar os dados de produtividade real com os dados de NDVI, originados do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT 5, de 27 de fevereiro de 2004 para a safra 2004/05 e de 13 de fevereiro de 2005 para a safra 2005/06. Notou-se que a variabilidade do NDVI do sensor TM explicava 38% da variabilidade da produtividade real para a safra 2004/05 e 41% para a safra 2005/06.

Comparou-se também os dados de produtividade real da safra do ano anterior com a produtividade real da safra atual. E notou-se que a variabilidade da produtividade da safra de 2003/04 explicou 49% da variabilidade da safra 2004/05. E a variabilidade da produtividade da safra de 2004/05 explicou 27% da variabilidade da safra 2005/06.

Portanto os dados a serem utilizados no cálculo dos *ensembles* são: produtividade estimada pelo modelo agronômico-espectral; estimativa da produtividade da Usina Catanduva; produtividade real do ano safra anterior; NDVI do sensor TM (27 de fevereiro de 2004 e de 13 de fevereiro de 2005); tipo de solo; tipo de variedade da cana; aplicação de vinhaça; estágio de corte; e ano safra.

A rede neural utilizada será do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP). O treinamento escolhido para a rede MLP é o supervisionado e o algoritmo de aprendizado utilizado para o treinamento desta rede será o algoritmo retro-propagação (backpropagation).

Para avaliar o desempenho desses *ensembles* será feita uma validação, utilizando 20% dos dados do conjunto original, e finalmente será realizada uma comparação da estimativa fornecida por esses *ensembles* com os dados de produtividade real fornecidos pela Usina Catanduva.

### 3. Resultados esperados

Acredita-se que os resultados do presente trabalho irão contribuir para a melhora das estimativas da produtividade da cana-de-açúcar na Usina Catanduva, podendo assim, estender tal metodologia para todo Estado de São Paulo. Isto traria diversos benefícios para o agronegócio e para os órgãos responsáveis pelo acompanhamento da safra da cana, pois o modelo estabelece um sistema de estimativa objetiva da produtividade da cana e por isso mais confiável.

### Referências

- Berka, L.M.S.; Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E. **Soybean yield estimation by an agrometeorological model in a GIS**. *Scientia Agricola*, v.60, n.3, p.433-440, 2003.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. **Yield response to water**. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 1979. 193 p. (FAO-Irrigation and Drainage Paper n. 33).
- Hansen, L. K.; Salamon, P. **Neural network ensembles**. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 12, n. 10, p. 993-1001, 1990.
- Rizzi, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 204 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos. 2004.
- Rudorff, B. F. T. **Dados Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. 1985. 114p. (INPE-3744-TDL/202). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1985.
- Rudorff, B. F. T.; Batista, G. T. **Yield estimation of sugar-cane based on agrometeorological - Spectral models**. *Remote Sensing of Environment*, v. 33, n. 3, p. 183-192, 1990.
- Rudorff, B. F. T.; Batista, G. T. **Wheat yield estimation at the farm level using Landsat-TM and agrometeorological data**. *International Journal Of Remote Sensing*, v. 12, n. 12, p. 2477-2484, 1991.
- Rudorff, B. F. T., Shimabukuro, Y. E., Batista, G. T., Lee, D. The contribution of qualitative variables to a sugarcane yield model based on spectral vegetation index. In: VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, 1995, Puerto Vallarta. *Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. SELPER e SIE*, 1995. **Anais...** v.1, p. 705-708.
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo – UNICA. **Cana-de-açúcar: produtos**. Disponível em: [http://www.unica.com.br/pages/cana\\_produtos.asp](http://www.unica.com.br/pages/cana_produtos.asp). Acesso em: 14 nov. 2004.