

## ELABORAÇÃO DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CORTE MANUAL COM QUEIMA PRÉVIA

J. P. MOLIN<sup>1</sup>, G. FONTANA<sup>2</sup>, R. V. GUIMARÃES<sup>2</sup>, F. R. CABRERA<sup>2</sup>, M. B. COSTA<sup>2</sup>

### RESUMO

Do total da área de cana-de-açúcar colhida no país, aproximadamente 75% é colhida no sistema de corte manual e 25% no sistema de corte mecanizado. A agricultura de precisão, entendida como um método de gestão do sistema de produção que considera a variabilidade espacial presente nas lavouras, prescinde de uma forma prática e efetiva de se obter mapas de produtividade que demonstrem a variabilidade na produção. A cana-de-açúcar colhida com corte manual ainda não é contemplada nas tecnologias existentes para a geração de mapas de produtividade. A quantificação de carga recolhida em cada ciclo e o georreferenciamento de cada garrada da carregadora mecânica pode fornecer parâmetros para a geração desses mapas e o conseqüente gerenciamento da variabilidade dos talhões. Neste sentido, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver um procedimento para a elaboração de mapas de produtividade de cana-de-açúcar no subsistema de corte manual com queima prévia. A metodologia aplicada se mostrou válida, propiciando a elaboração de mapas de produtividade para cana-de-açúcar no subsistema de colheita manual com queima prévia. Espera-se que com a coleta automática de pontos das garradas, diretamente na carregadora, seja possível aprimorar o procedimento, melhorando a qualidade da informação.

**PALAVRAS-CHAVE:** AGRICULTURA DE PRECISÃO, CARREGADORA, GPS.

## YIELD MAPPING OF SUGARCANE MANUALLY HARVESTED

### SUMMARY

Approximately 75% of the total sugarcane area harvested in Brazil is made manually and 25% is mechanized. Precision agriculture is a method of production systems management that considers the spacial variability presence, which promote practical and effective ways of obtaining yield maps to show that variability. The existent maps generation technologies dasent contemplate manually harvested sugarcane yet. By georeferencing each load of the mechanical loader, this variability management can be done also in that kind of harvested crops. The present work objective was develop a procedure to elaborate yield maps for manually harvested sugarcane with previous burning. The methodology showed to be effective and anso make possible the elaboration of that sugarcane yield map, make also possible to visualize significant infield variability. It is expected that with an automatic data collection, directly in the loader, the procedure could be improved to increase the information quality.

**KEYWORDS:** PRECISION AGRICULTURE, LOADER ,GPS.

### INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão compreende um conjunto de conceitos e técnicas que permitem o gerenciamento das lavouras considerando as diferenças locais. Sua implementação requer a coleta e análise de grandes quantidades de dados que se tornam informações úteis na tomada de decisões e uma dessas informações são os mapas de produtividade. Para culturas tradicionais como grãos já foram desenvolvidos vários tipos de sensores que, associados à informação de localização da colhedora fornecida pelo GPS, permitem gerar

<sup>1</sup>Professor, Depto. Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, SP, Av. Pádua Dias, 11, e-mail: [jpmolin@esalq.usp.br](mailto:jpmolin@esalq.usp.br)

<sup>2</sup> Mestrando em Máquinas Agrícolas, Depto. Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

mapas e identificar áreas com diferentes produtividades (PAGNANO et al., 2002). Todavia, para gerar mapas de produtividade para culturas de grande importância para o Brasil, como a cana-de-açúcar, café e laranja, pouco tem sido feito.

Para culturas tropicais e em pesquisas desenvolvidas no Brasil tem-se, por exemplo, o trabalho de SARTORI et al. (2002) que apresentaram um sistema de monitoramento da produtividade de café para colheita mecânica; BALASTREIRE et al. (2001a) que apresentaram um sistema automático de pesagem constituído por quatro células de cargas para café utilizando uma carreta instrumentada e BALASTREIRE et al. (2001b) que utilizando o método de pesagem direta dos sacolões com uma célula de carga.

A cultura de cana-de-açúcar, por apresentar características próprias e bem distintas de grãos, requer desenvolvimento de um sistema de monitoramento de produção específico que, aliado à informação do GPS, permita gerar os mapas de rendimento. No subsistema de colheita mecanizada PIEROSI & HASSUANI (1997), na tentativa de produzir mapas de rendimento montaram sobre quatro células de carga de compressão, uma caçamba de balança superior, permitindo, desta forma, a leitura da carga total da caçamba independente da distribuição desta em seu interior. SARAIVA et al. (1999), desenvolveu um dispositivo dinâmico nas carregadoras de cana inteira, com o objetivo de obter a quantidade de cana sendo carregada e posta no caminhão. Durante os testes executados o sistema apresentou altas oscilações na coleta da produtividade. Estes erros ocorreram durante o movimento do braço mecânico da carregadora quando levantava o feixe de cana para depositá-lo no veículo de carga, fato explicado pelas perturbações e sobrecargas instantâneas no braço da carregadora. Caso o erro permanecesse constante, seria uma alternativa de obter dados de peso para a geração de mapas de produtividade de cana-de-açúcar inteira.

Para o subsistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando-se colhedoras automotrizes, já existem trabalhos realizados focando o mapeamento de produtividade, tais como COX et al. (1997), na Austrália, MAILANDER et al. (2002), nos Estados Unidos e PAGNANO et al. (2002), no Brasil.

O Brasil o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 28,5% do total da produção. A cultura de cana ocupa uma área de 5,213 milhões de hectares, com uma produção de mais de 357 milhões de toneladas.ano<sup>-1</sup> (ANUARIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004). Em termos quantitativos, do total da área de cana-de-açúcar colhida no país, aproximadamente 75% é colhida com corte manual e somente 25% com corte mecanizado. Desta forma, as carregadoras ocupam uma posição de extrema importância no sistema de colheita semimecanizado de colheita de cana-de-açúcar.

MOLIN et al. (2003), avaliaram a regularidade do peso das cargas realizadas por carregadoras mecânicas de cana-de-açúcar, no subsistema de colheita de corte manual com queima prévia, a fim de verificar a viabilidade de utilização dessas informações de peso das cargas no gerenciamento da variabilidade dos talhões. Concluindo que existe uma determinada constância no peso médio das garradas das carregadoras. A quantificação da carga recolhida em cada ciclo e o georreferenciamento de cada garrada da carregadora mecânica pode fornecer parâmetros para a elaboração de mapas de produtividade e o conseqüente gerenciamento da variabilidade dos talhões.

Neste sentido, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver um procedimento para a elaboração de mapas de produtividade de cana-de-açúcar no subsistema de corte manual com queima prévia, a partir da mensuração da área de contribuição de cada garrada, considerando o peso médio das garradas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado durante a colheita de 2003 na Usina Cerradinho, localizado no município de Catanduva, SP, em uma área de 3,96 ha, em canavial de segundo corte, plantado no espaçamento de 1,5m entre linhas. Com o procedimento normal da Usina, os talhões são colhidos por meio do sistema de corte manual com queima prévia e posteriormente são recolhidos por carregadoras mecânicas. Cada cortador corta cinco linhas, enleirando a matéria prima na linha central, para posterior recolhimento mecânico. Com base no trabalho realizado anteriormente (MOLIN et al., 2003), observou-se que existe uma determinada constância na carga de cada carregadora e dessa forma desenvolveu-se um procedimento para a obtenção da área de contribuição de cada garrada, assumindo um peso médio entre elas para uma população de garradas representada por um veículo de carga.

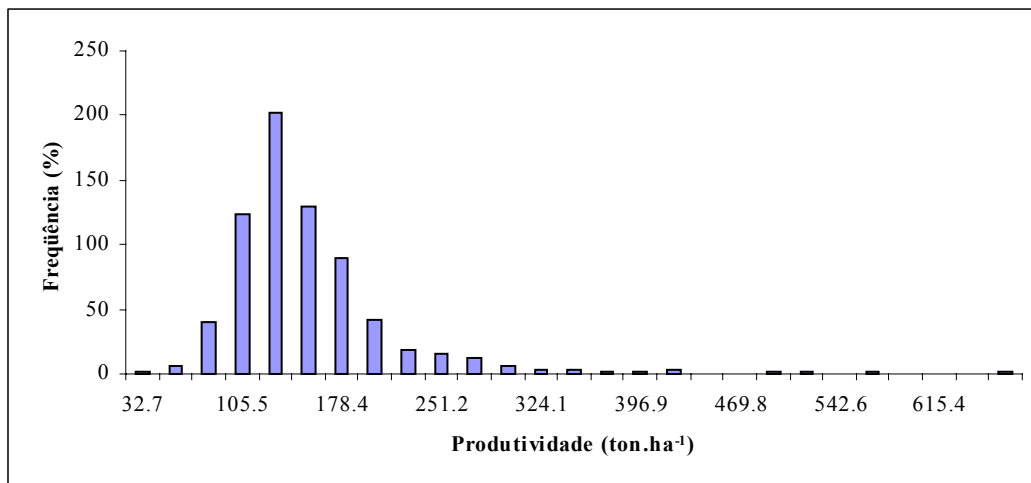
Por ocasião da colheita, na área experimental, estavam operando três carregadoras. Assim foram utilizados três receptores de GPS de navegação para georreferenciar os pontos de carga de cada garrada

da lavoura no momento em que o braço mecânico da carregadora levantava o feixe de cana para depositá-lo no veículo de carga. Por motivo de segurança e agilidade foi adotado um deslocamento lateral de 4m do ponto marcado até o centro da garrada e posteriormente esse deslocamento foi compensado. As coordenadas geográficas coletas pelos receptores de GPS foram convertidas para coordenadas métricas (UTM), permitindo assim o cálculo das distâncias entre os pontos. Para determinar o peso médio de cada garrada, foi desenvolvido um algoritmo, onde, a partir da distância entre garradas e do espaçamento entre linhas que define a área de contribuição de cada garrada e do peso médio das garradas de uma carreta, determinou-se a produtividade individual de cada uma dessas áreas. As áreas representativas de cada ponto foram obtidas pela multiplicação das distâncias pela largura de corte de cada leira, equivalente a 7,5m. Para melhor ajuste de posicionamento das coordenadas representativas da área de contribuição de cada garrada, esses pontos foram recuados para o centro dos polígonos. A definição das coordenadas do primeiro ponto de cada leira foi feita a partir da borda do talhão. Com isso obteve-se a primeira distância e a partir do segundo ponto essa distância foi calculada entre cada ponto e seu sucessor. Para obter o valor da produtividade, utilizou-se o critério da multiplicação da área de produção do ponto pelo peso médio das garradas do veículo de carga, a partir da carga total do veículo obtida na balança da usina e o número de garradas necessárias para enchê-lo. Assim, dividiu-se o peso médio das garradas correspondentes a cada ponto pela sua respectiva área de produção, obtendo-se a produtividade por ponto.

Após o cálculo da produtividade relativa a cada ponto foram realizadas a análise estatística descritiva dos dados e a análise da distribuição de frequência dos valores de produtividade. A partir dos valores obtidos verificou-se a existência de valores extremos e estabeleceu-se o critério segundo TUKEY (1977) para realizar a remoção destes valores extremos. Para tanto foram calculados os limites de discrepância inferior e superior. Os pontos que apresentaram produtividade abaixo do limite inferior e acima do limite superior foram removidos e com os dados filtrados verificou-se a sua nova distribuição e geraram-se os mapas com suas respectivas produtividades.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das produtividades assim calculadas obteve-se a distribuição de frequência de produtividades observadas, apresentada na Figura 1, bem como a estatística descritiva da população de pontos, que é apresentada na Tabela 1.



**FIGURA 1** - Histograma da distribuição de frequência dos dados de produtividade brutos.

Com os dados da análise descritiva, foi possível verificar que a distribuição dos dados de produtividade se afasta da normalidade, apresentado no histograma que indicou assimetria positiva, a qual é expressa por um coeficiente de assimetria de 2,94. A curtose, por sua vez, assume para esta distribuição o valor de 14,93, a qual apresenta uma distribuição leptocúrtica. Devido à hipótese de não normalidade, é

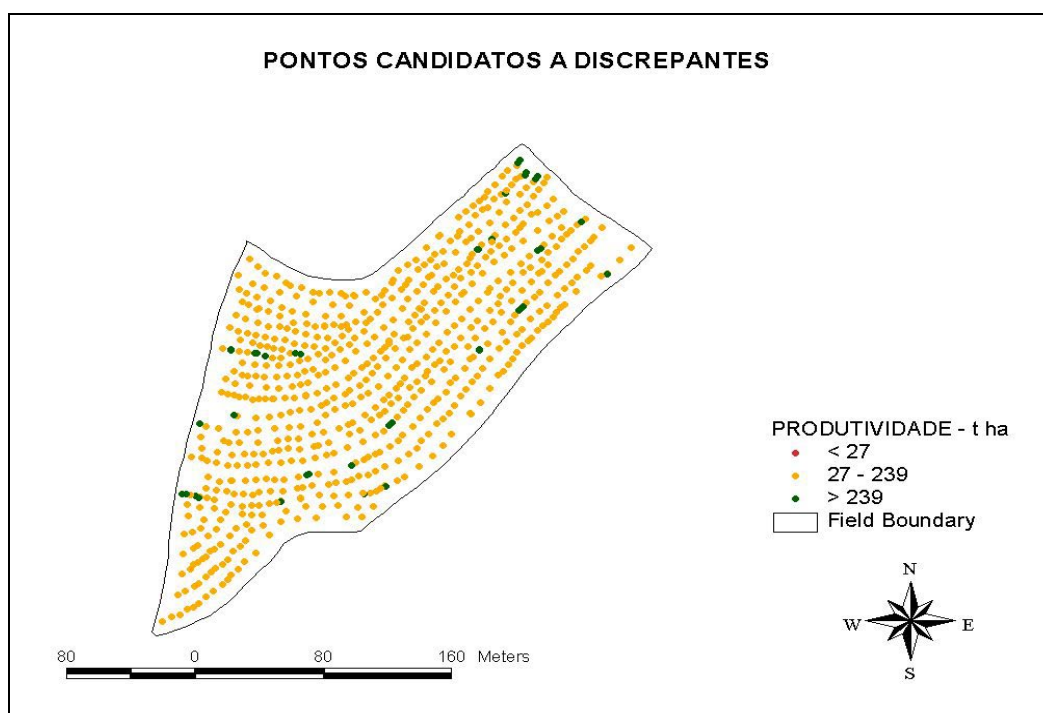
ressaltada a importância da identificação e remoção dos dados discrepantes para buscar um melhor comportamento da distribuição, melhorando a confiabilidade dos dados.

Pelo critério do cálculo dos limites inferiores e superiores os pontos que apresentaram produtividade abaixo do limite inferior ( $27,3 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) e acima do limite superior ( $237,7 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) foram os valores candidatos a discrepantes. Os 43 pontos assim classificados como sendo valores extremos são identificados na Figura 2. Estes dados foram excluídos do conjunto original e gerou-se um arquivo de dados filtrados. A análise descritiva dos dados de produtividade filtrados permitiu verificar que a distribuição dos dados assumiu um comportamento muito próximo à distribuição normal (Tabela 1), com assimetria 0,46 e curtose 0,11. Esses dados são apresentados na (Figura 3).

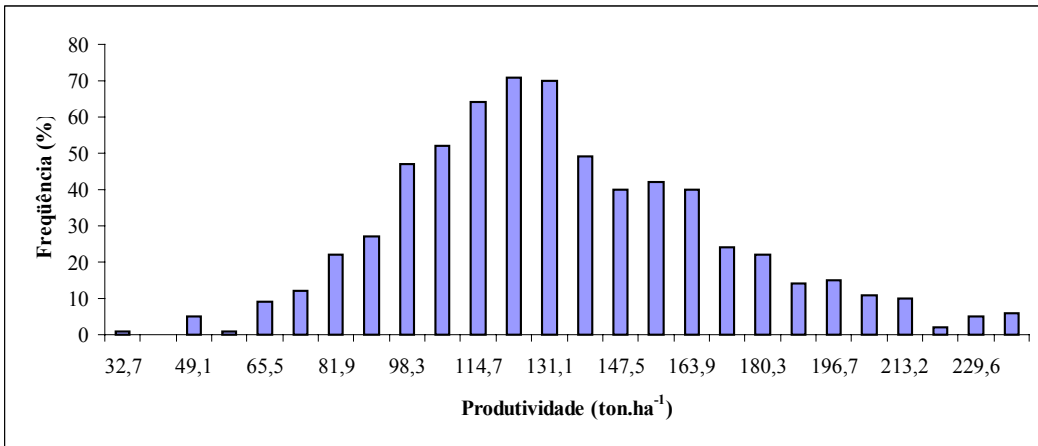
Após a remoção dos dados discrepantes pode-se observar que o valor de mínima produtividade não sofreu influência, mas para os valores de máxima produtividade e o coeficiente de variação houve decréscimos acentuados devido à eliminação dos pontos discrepantes.

**TABELA 1** - Estatística descritiva dos dados brutos de produtividade da população de pontos coletados.

Parâmetros	Valores	
	Dados brutos	Dados filtrados
Média ( $\text{ton.ha}^{-1}$ )	141,3	129,7
Mediana ( $\text{ton.ha}^{-1}$ )	127,7	124,9
Mínimo ( $\text{ton.ha}^{-1}$ )	32,7	32,7
Máximo ( $\text{ton.ha}^{-1}$ )	664,0	237,7
Quartil inferior ( $\text{ton.ha}^{-1}$ )	106,5	106,5
Quartil superior ( $\text{ton.ha}^{-1}$ )	159,4	159,4
Variância	3.833,72	1.317,85
Desvio padrão	61,92	36,30
Assimetria	2,94	0,46
Curtose	14,93	0,11
Coeficiente de variação (%)	43,82	29,04

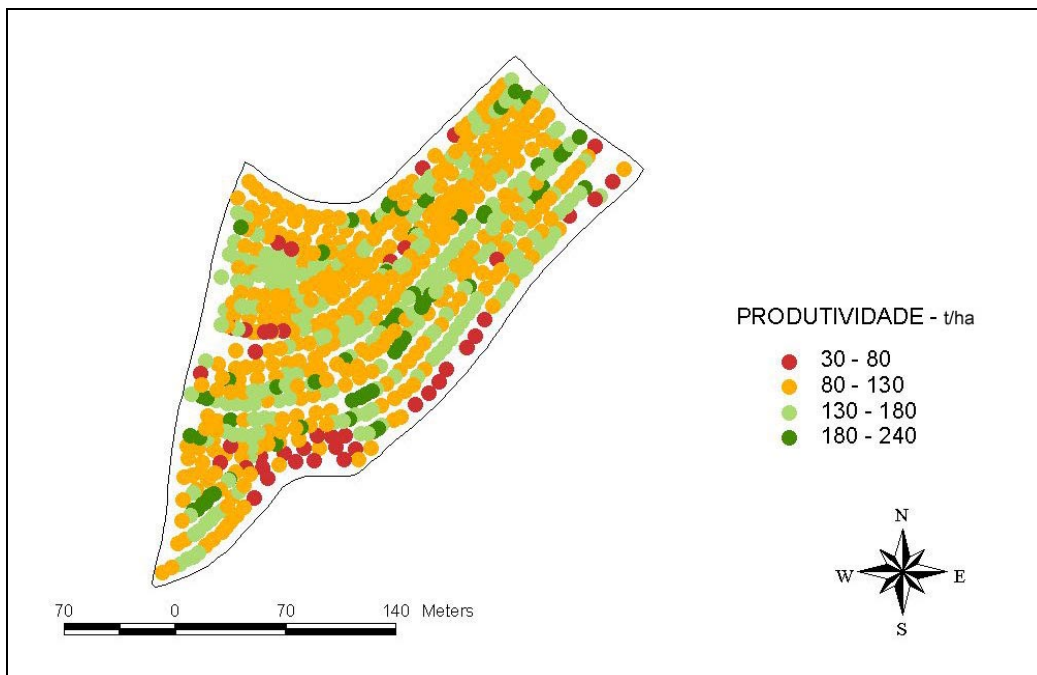


**FIGURA 2** - Mapa de pontos candidatos a discrepantes (pontos verdes).



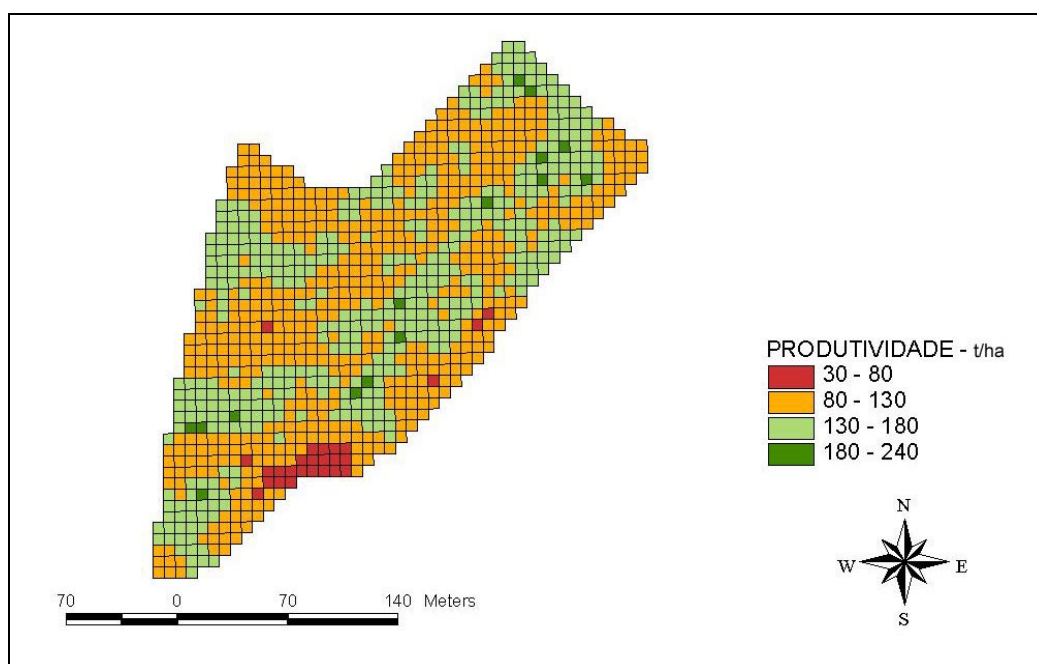
**FIGURA 3** - Histograma dos dados de produtividade filtrados.

Pode-se perceber que após realizar a filtragem dos dados de produtividade, a média sofreu uma redução de 141,3 ton.ha<sup>-1</sup> para 129,7 ton.ha<sup>-1</sup>, já que foram eliminados os pontos acima do limite superior. Na Figura 4 pode-se visualizar o mapa de produtividade dos pontos.



**FIGURA 4** - Mapa dos pontos georreferenciados classificados por suas produtividades.

Utilizando o mapa de pontos de produtividade da Figura 4 foi feita a interpolação dos dados utilizando o interpolador matemático “inverso da distância na segunda potência”. Gerou-se assim a superfície de produtividade ou o mapa de produtividade apresentado na Figura 5.



**FIGURA 5** - Mapa de produtividade interpolado pelo método do inverso da distância na segunda potência.

Com o mapa de produtividade interpolado, pode-se visualizar as áreas com as suas respectivas produtividades. Pode-se observar que há uma área que apresentou baixa produtividade, especialmente próxima da borda inferior. Assim também, observam-se áreas de alta produtividade ambas em agrupamentos que indicam a existência de variabilidade na produção do talhão e a capacidade do método em identificá-la.

## CONCLUSÃO

A Metodologia aplicada se mostrou válida, propiciando a elaboração de mapas de produtividade para cana-de-açúcar em colheita manual com queima prévia. O mapa de produtividade mostrou que existem regiões com baixas e outras com altas produtividades, sendo possível a seqüência nas investigações que apontem para os fatores causadores de baixa produtividade no cultivo da cana-de-açúcar.

## AGRADECIMENTOS

À Usina Cerradinha pelo apoio e colaboração na obtenção dos dados utilizados neste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUARIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA, São Paulo. 2004. p.213 - 215.

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G. Agricultura de Precisão: Mapeamento da produtividade de uma cultura de café. <http://www.ciagri.usp.br/~leia/resucafe.htm>. Maio 2001a.

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G. Agricultura de Precisão: Mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja. <http://www.ciagri.usp.br/~leia/laranja.htm>. Maio 2001b.

COX, G.; HARRIS, H.; PAX, R. Development and testing of a prototype yield mapping system. In: PROCEEDINGS OF AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1997.



- PAGNANO, N.B.; MAGALHÃES, P.S.G.; UMEZU, C. Mapeamento da produtividade da cultura de cana-de-açúcar. In: Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2002. p. 38-41.
- PIEROSI, M.A.; HASSUANI, S.J. Caçamba instrumentada para pesagem de cana picada. In: SEMINARIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7. Piracicaba: Copersucar, 1997.
- SOUZA, R. Colheita de cana começa e voltam as queimadas. In: Suplemento agrícola, O Estado de São Paulo, 16 de maio de 2001. São Paulo. P. G10-G11.
- MOLIN, J.P.; FRANCO, F.N.; PINCELLI, A.L.S.; SUGUISAWA, J.M.; SILVA, S.S.S.; Avaliação da regularidade do peso das cargas de carregadoras mecânicas de cana-de-açúcar em corte manual com queima prévia. XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA. 28 de julho à 01 de agosto de 2003. Goiânia - GO.
- SARAIVA, A.M.; SANTANA, J.L.; HIRAKAWA, A.R.; CUGNASCA, C.E.; PIEROSI, M.A.; HASSUANI, S.J. Yield mapping of sugar cane: dynamic weighing on grab loaders. In: 2nd European Conference on Precision Agriculture Odense Congress Centre, Denmark. July 1999. p11-15.
- SARTORI, S.; FAVA, J.F.M.; DOMINGUES, E.L.; RIBEIRO FILHO, A.C.; SHIRAI. L.E. Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. Proceedings of the World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources, p.196-205. ASAE, St. Joseph. 2002.
- TUKEY, J. W. Exploratory data analysis. 1 ed. Reading, Massachusetts, 1977. v.1-3.