

Uso de equipamento portátil de Fluorescência de Raios X para análise de cana de açúcar

MELQUIADES, Fábio Luiz

BORTOLETO, Gisele G.

NEME, Fernanda F.

TON, Ariel

MARCHIORI, Luis Fernando Sanglade

MARETTI, Maria Izabel

Resumo

O objetivo deste estudo foi verificar a viabilidade do uso de fluorescência de raios X por dispersão em energia (EDXRF) com equipamento portátil para análise de cana de açúcar. Foram realizados experimentos diretamente no colmo das variedades e ainda com o caldo antes e depois de armazenamento sob refrigeração. O tempo de irradiação foi de 60 s e os espectros foram avaliados através da Análise de Componentes Principais (PCA). De forma geral, a metodologia proposta apresentou resultados promissores para o setor sucroalcooleiro na avaliação de parâmetros de qualidade da cana de açúcar, com irradiação direta do colmo da cana.

Palavras chave: cana de açúcar, fluorescência de raios X, análise de componentes principais.

Abstract

The objective of this study was to verify the feasibility of using Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) with portable equipment for sugarcane analysis. Experiments were performed directly in the stem of the studied varieties, and also on the juice before and after freeze storage. Irradiation time was 60 s and the spectra were evaluated by Principal Component Analysis (PCA). Overall, the proposed methodology showed promising results for sugar and alcohol sector in the evaluation of quality parameters of sugarcane, with direct irradiation of the cane stem.

Keywords: sugar cane, X-ray fluorescence, principal component analysis.

Resumen

El objetivo de este estudio fue investigar la factibilidad de usar fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF) con un aparato portátil para el análisis de la caña de azúcar. Los experimentos se llevaron a cabo directamente sobre el tallo de las variedades y con el jugo antes y después del almacenamiento bajo refrigeración. El tiempo de irradiación fue de 60 s y los espectros fueron evaluados por el Análisis de Componentes Principales (PCA). En general, la metodología propuesta mostró resultados prometedores para la industria de la caña de azúcar en la evaluación de parámetros de calidad de la caña de azúcar, con la irradiación directa del tallo de la caña.

Palabras clave: caña de azúcar, fluorescencia de rayos X, análisis de componentes principales.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma gramínea com capacidade de sintetizar açúcares, com destaque para a sacarose e com características relevantes que a situam como a planta comercial de maiores rendimentos em biomassa energética. É uma cultura bastante difundida no Brasil como recurso agrícola renovável na produção industrial de açúcar e biocombustível, além de fibra, fertilizantes e uma miríade de co-produtos com sustentabilidade ecológica (ITURRA, 2011).

A maturação da cana-de-açúcar pode ser definida como o processo fisiológico que envolve a formação de açúcares nas folhas, seu deslocamento, armazenamento e concentração no colmo. Existem diferentes formas de determinação do ponto de maturação da cana-de-açúcar. A metodologia mais freqüentemente aplicada é utilizando um refratômetro de campo, complementado pela análise de laboratório. Com a adoção do sistema de pagamento pelo teor de sacarose, há necessidade de o produtor conciliar alta produtividade agrícola com elevado teor de sacarose na época da colheita. O refratômetro fornece diretamente a porcentagem de sólidos solúveis do caldo (Brix), o qual está estreitamente correlacionado com o teor de sacarose da cana.

Métodos alternativos para análise do caldo da cana com vistas ao cálculo para pagamento dos fornecedores vêm sendo investigados e testados com a finalidade de aumentar a confiabilidade, uniformidade e também a precisão das medidas (SHREVE, 1980, LANE, 1993, JOHNSON, 2000, CONSECAN-PR, 2000). Atualmente, o Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP, 2006) regulamenta que o Brix, o Pol e o AR do caldo extraído podem ser determinados por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), após a definição de modelos de calibração, construídos com os resultados da metodologia padrão (CHANG, 1988, SALGO, 1998, TEWARI, 2003, LIMA, 2005, VALDERRAMA, 2007, SOROL, 2010). Contudo, a busca por métodos alternativos tem incentivado a pesquisa de novas técnicas e metodologias para análises mais rápidas e eficientes e menos custosas para o setor sucro-alcooleiro.

A técnica de Fluorescência de Raios X (XRF) dispõe de um método bem estabelecido na área de pesquisas ambientais, sendo uma das técnicas de espectrometria atômica que podem ser adaptadas para uso em campo com equipamentos portáteis (IVANOVA, 1998, MELQUIADES, 2008). É uma técnica analítica multi-elementar, rápida, de baixo custo, de fácil operação e seus princípios físicos, vantagens e limitações são bem conhecidos (BERTIN, 1975, CESAREO, 2000).

O objetivo deste estudo foi verificar a viabilidade do uso de fluorescência de raios X com equipamento portátil para análise de cana de açúcar. Os testes realizados visaram responder as seguintes questões: (a) A cana de açúcar pode ser analisada ainda plantada ou precisa ser cortada quando se pretende estimar a maturação da mesma? (b) No caso da análise do caldo, o mesmo pode ser congelado para análise posterior ou deve ser analisado logo após a prensagem da cana de açúcar? (c) É possível constatar diferenças de composição em relação à posição de irradiação

em um mesmo caule de cana de açúcar? (d) A XRF pode identificar diferenças entre caules, no caso de plantas com floração e sem floração?

MATERIAIS E MÉTODOS

Fluorescência de Raios X

O fenômeno que antecede a XRF é o efeito fotoelétrico. Quando um átomo é submetido a um processo de irradiação utilizando-se de uma fonte de alta energia (tubos de raios X, indução por partícula, radioisótopos naturais, luz síncrotron, por exemplo), um elétron pode ser ejetado das camadas eletrônicas mais internas do átomo, chamado fotoelétron. Para estabilização deste estado de excitação, elétrons das camadas eletrônicas mais externas ocupam rapidamente as vacâncias geradas, liberando um raio X com a diferença de energia existente entre os dois níveis de energia. A radiação emitida para cada transição é característica para cada elemento presente na amostra e a quantidade destes raios X característicos é proporcional à concentração do elemento a ele relacionado (JENKINS, 1999).

Porém, além do efeito fotoelétrico, efeitos de espalhamento do feixe incidente, conhecidos como espalhamentos Rayleigh, Compton e Raman de raios X, ocorrem simultaneamente. As intensidades relativas destes fenômenos dependem também da composição da matriz da amostra e aumentam proporcionalmente com o decréscimo da massa molar média da amostra. Portanto, amostras com grande quantidade de átomos leves apresentam espalhamento muito intenso. Variações muito tênues em espectros de amostras orgânicas podem ser avaliadas com o auxílio de análise multivariada e diversos trabalhos tem demonstrado sua eficácia na discriminação e quantificação de certas propriedades em amostras orgânicas utilizando-se espectros de XRF (VÁZQUEZ, 2002, BUENO, 2005, BORTOLETO, 2005, GORAIEB, 2007).

Análise de Componentes Principais

Métodos de análise multivariada ou quimiometria são empregados em análise de dados que requerem determinações simultâneas de diversas espécies em uma ou mais amostras. A análise exploratória não supervisionada baseada em métodos de reconhecimento de padrões visa evidenciar similaridades ou diferenças entre amostras de um determinado conjunto de dados (SILVA, 2002). A análise de componentes principais (PCA) é a base principal de diversos métodos de análise multivariada e seu grande objetivo é comprimir a quantidade de informação de um conjunto de dados iniciais para um novo sistema de eixos, denominados Componentes Principais (PC). Estas PCs representam as amostras, possibilitando visualizar características multivariadas dos dados em poucas dimensões, através de uma projeção de dados sobre um

subespaço dimensional menor, maximizando a variância, sem perda de informação relevante. A primeira componente principal, PC1, é a combinação linear de máxima variância (isto é, de máxima informação) das variáveis originais, ou seja, os auto vetores, num determinado eixo. A segunda componente, PC2, de segunda maior variância, é ortogonal a PC1, isto é, não correlacionada a ela, e assim por diante. Como esses eixos são calculados em ordem decrescente de importância, a informação relevante fica concentrada nas primeiras PCs, que podem ser então confrontadas com padrões de características conhecidas das amostras em avaliação (WOLD, 1997, SILVA, 2002, NETO, 2006).

Amostragem

As amostras de cana-de-açúcar foram obtidas na Fazenda Areão da ESALQ-USP. As análises dos parâmetros de qualidade da cana de açúcar pelo método convencional foram realizadas na FATEC Piracicaba - Centro Paulo Souza – SP, seguindo as normas do CONSECANA (Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar).

Foram realizadas medidas em caules antes de cortar, ou seja, com a cana ainda no campo (*in vivo*) e depois de cortados os caules. As irradiações com o equipamento portátil de EDXRF foram feitas no colmo da região central. O mesmo colmo foi medido depois de cortar a cana de açúcar. Neste caso foram avaliadas as variedades: *Saccharum officinarum* (sac), SP 803280 (SP 80), IACSP95 5000 (iac95), RB 835486 (rb86), SP 711406 (sp06). Os termos entre parênteses se referem-se aos códigos utilizados nos gráficos ao longo do texto.

Para verificar se existe diferença significativa nos espectros quando da análise do caldo, foram feitas medidas logo após sua prensagem e depois de armazenagem sob refrigeração e descongelamento dos mesmos. As variedades estudadas foram: SP 8642 (Sp 42), RB835089 (Rb 89), SP 813250 (sp 50) e SP 701143 (sp 43)

Visto que uma das variedades estudadas apresentava caules com floração, foram retirados três caules da amostra SP 813250, um deles com floração na ponta. O intuito foi verificar se a diminuição do teor de sacarose no caule com floração é identificada por XRF.

Por fim, em um dos caules de *Saccharum officinarum*, foram realizadas medidas nos três primeiros colmos, nos três colmos centrais e nos três últimos colmos, visando verificar variações nestas distintas regiões de um mesmo caule.

Realizadas as medidas por EDXRF, os caules foram triturados e prensados para obtenção da fibra e do caldo para as análises laboratoriais dos parâmetros de qualidade da cana. O caldo foi congelado e posteriormente analisado por EDXRF, acondicionado em celas com filme de politeraftalato de etileno específicas para uso com XRF.

Instrumentação

As medidas foram realizadas com um equipamento portátil de EDXRF, InnovX system, modelo AlphaCam, com tubo de raios X de Ta (Tântalo) e detector de diodo de SiPIN, resfriado por sistema Peltier. As condições de medida foram avaliadas e optou-se por usar 20 kV, 20 μ A, filtro de Al de 100 μ m no tubo de raios X e 60 s de medida para todas as amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medidas de caules no campo e depois de cortados

Foram medidos 5 caules de diferentes variedades de cana de açúcar em campo, antes de cortar os caules. As mesmas amostras foram então submetidas ao corte e medidas por EDXRF, até 5 horas após o corte. (Figura 1). Os espectros de uma seqüência de medidas são apresentados na Figura 2, para alguns intervalos de tempo.



Figura1: Foto das medidas no campo antes e depois de cortadas.

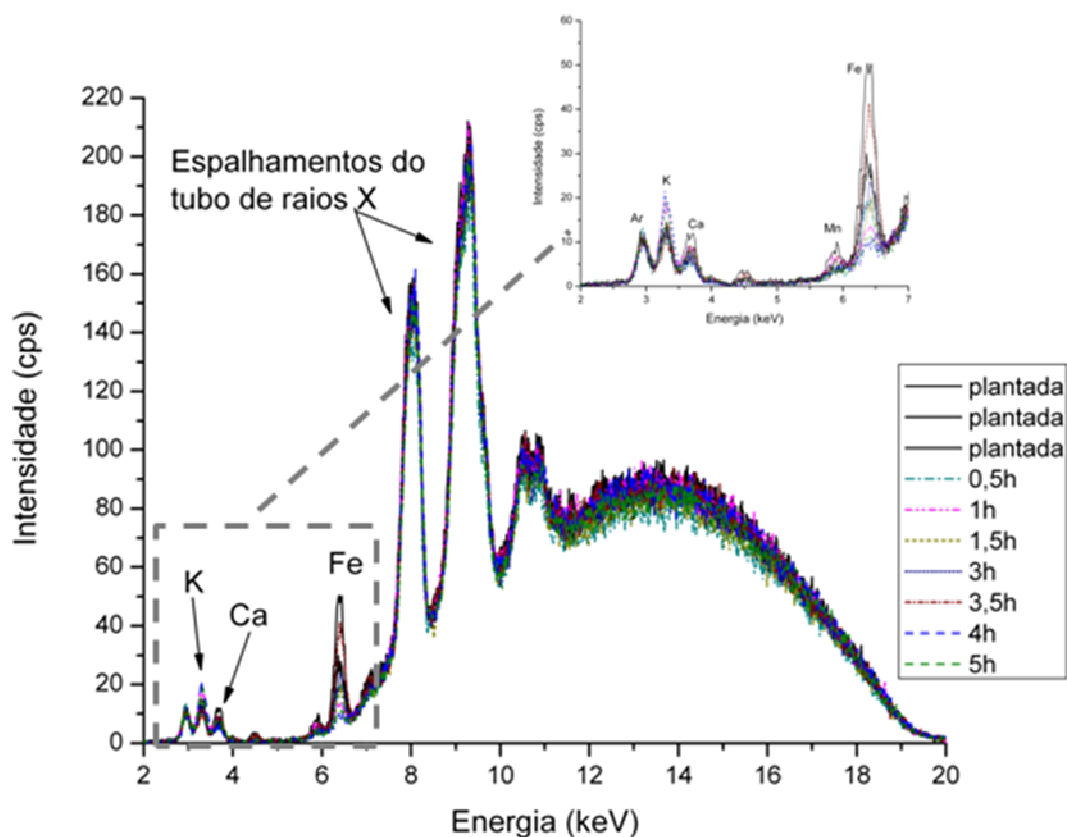


Figura 2: Espectros do colmo da cana de açúcar nos diferentes tempos de irradiação após o corte.

O gráfico de *scores* e *loadings* para a amostra SP 803280 é apresentado na Figura 3, com a PC1 explicando 59,23% da variância dos dados e a PC2, 10,09%. Nesta figura, o gráfico de *scores* mostra que não existe diferença significativa entre as medidas, visto que a distância entre os pontos está relacionada com a variabilidade do equipamento na obtenção dos espectros. O gráfico de *loadings* mostra que o ferro influenciou a disposição destas amostras; contudo, a maioria dos pontos se distribui em torno da região central, indicando homogeneidade das amostras avaliadas. A Figura 4 apresenta os gráficos de *scores* para as demais amostras, mostrando que em todos os casos foi constatado que a medida do caule no campo é equivalente à medida do caule cortado. Os gráficos de *loadings* não foram apresentados, pois sua disposição é semelhante à Figura 3 para todas as amostras avaliadas.

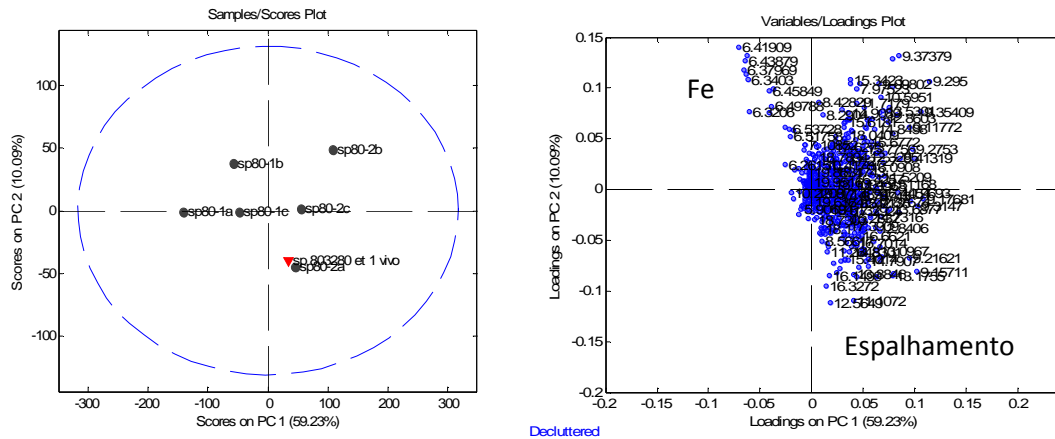


Figura 3: Gráfico de *scores* e *loadings* da amostra SP 803280 das medidas no colmo, mostrando a equivalência entre as medidas antes e depois do corte. (▼) medida em campo com cana plantada (*in vivo*), (●) medida em campo após o corte.

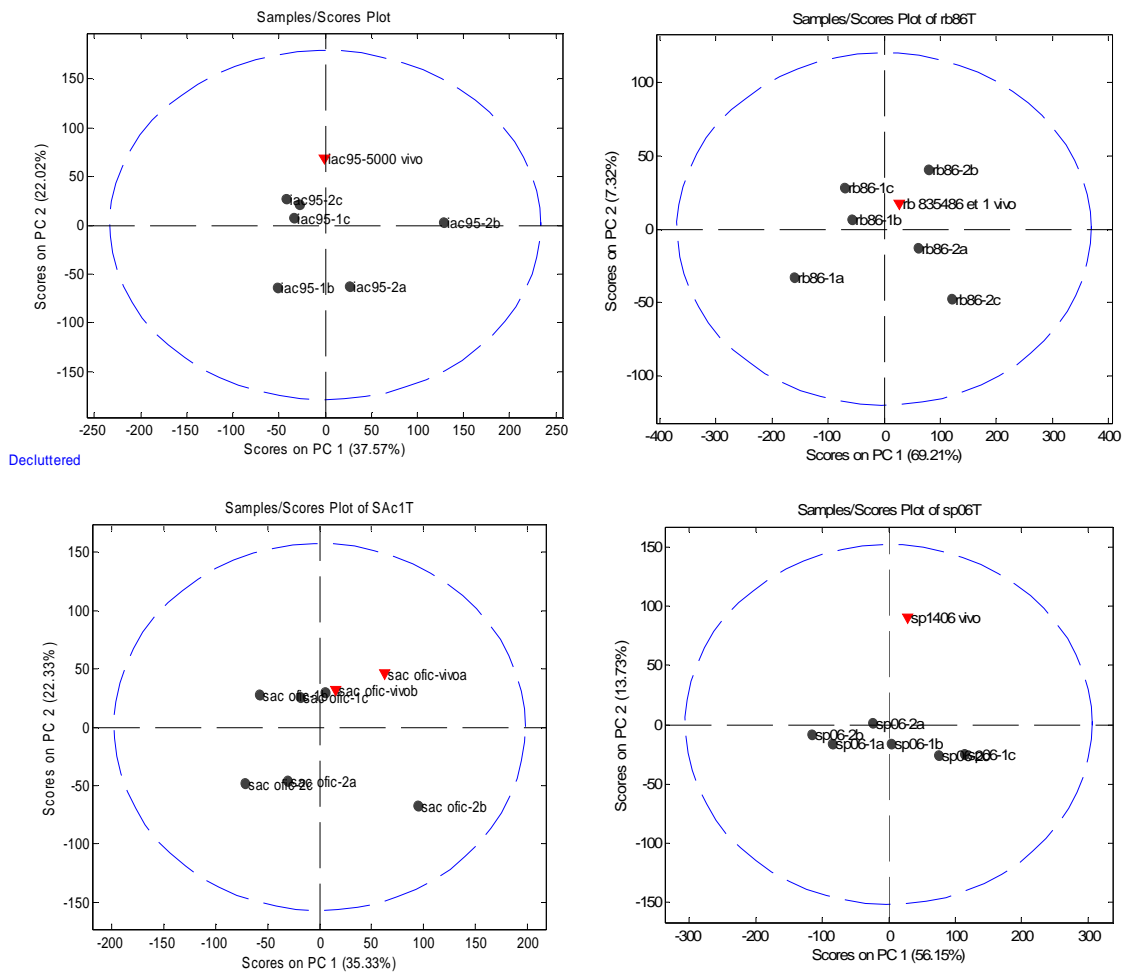
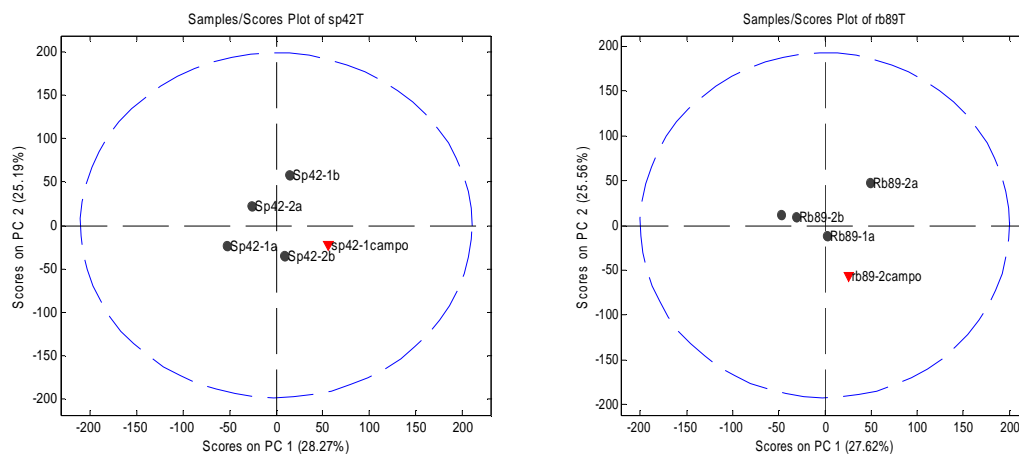


Figura 4: Gráfico de *scores* de 4 variedades de cana de açúcar medidas no colmo. (▼) medida em campo com cana plantada (*in vivo*), (●) medida em campo até 5 horas após o corte.

Análise do caldo em campo e em laboratório após descongelamento

A diminuição da temperatura do produto vegetal, durante o processamento e armazenamento, é fundamental para reduzir a respiração, a produção de etileno e a transpiração, ou seja, as deteriorações fisiológicas, bem como colabora para a diminuição da microbiota. Apesar do uso da refrigeração ser indispensável, para cada tipo de produto, existe a faixa de temperatura adequada para conservação e prolongamento da vida útil do produto (WILEY, 1997). Andrade *et al.* 2008 avaliaram o congelamento dos caules minimamente processados como forma de conservação da cana e verificaram que os resultados foram positivos.

No caso deste estudo, avaliando os resultados mostrados na Figura 5, percebe-se que não há diferença significativa entre as medidas feitas logo após a prensagem e com o caldo armazenado sob congelamento a -20°C e analisado posteriormente. Esta afirmação baseia-se na disposição dos pontos, ou seja, na distancia entre eles e o eixo de origem. Adicionalmente, o gráfico de *loadings* (Figura 6) apresenta as variáveis em torno do ponto central, confirmando a homogeneidade das medidas. Este comportamento se repetiu para todas as variedades.



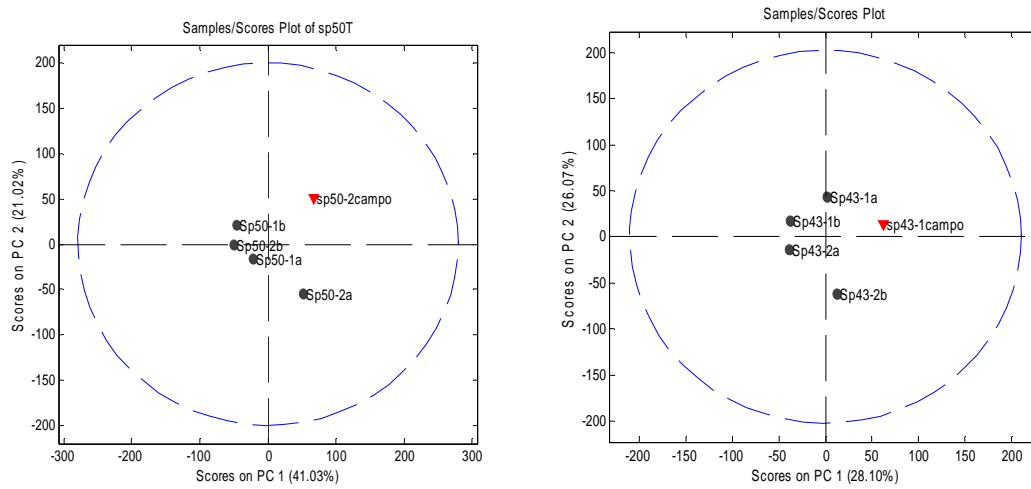
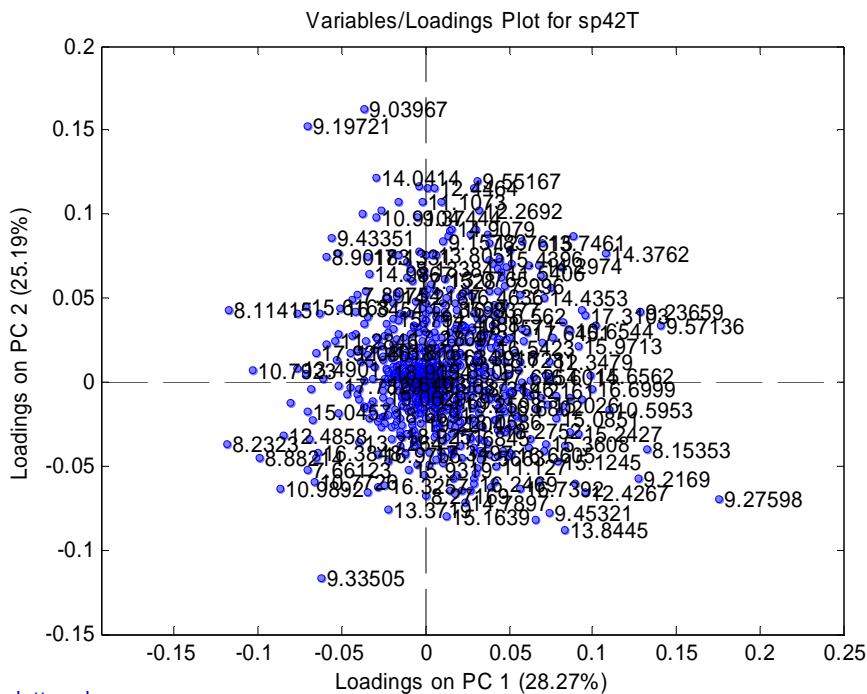


Figura 5: Gráfico de *scores* de 4 variedades de caldo de cana, mostrando a equivalência entre as medidas realizadas logo após a prensagem (▼) e após armazenamento em freezer e descongelamento para análise (●).



Decluttered

Figura 6: Gráfico de *loadings* da amostra SP 8642, exemplificando a disposição das variáveis.

Medidas em três regiões diferentes do mesmo caule de *Saccharum officinarum*

A maturação da cana de açúcar ocorre da base para o ápice do colmo. A cana imatura apresenta valores bastante distintos nesses seguimentos, os quais vão se aproximando no processo de maturação. Assim, o critério mais racional de estimar a maturação pelo refratômetro de campo é pelo índice de maturação (IM), que fornece o quociente da relação entre o Brix da ponta do colmo e o Brix da base do colmo.

Foram feitas medidas em colmos de 3 regiões de um mesmo caule: próximo da raiz, na região central e no topo, totalizando 12 espectros. A análise de PCA com os valores médios de cada região estão na Figura 7, mostrando que a XRF não foi capaz de identificar diferenças entre os distintos pontos do caule na época estudada, devendo ser repetida para início de safra quando os valores podem estar com maior amplitude. Contudo, pode ser notada uma tênue tendência a um maior teor de ferro nos colmos mais próximas da raiz. A explicação para isso é a migração de ferro do solo para a planta (MALAVOLTA, 2006).

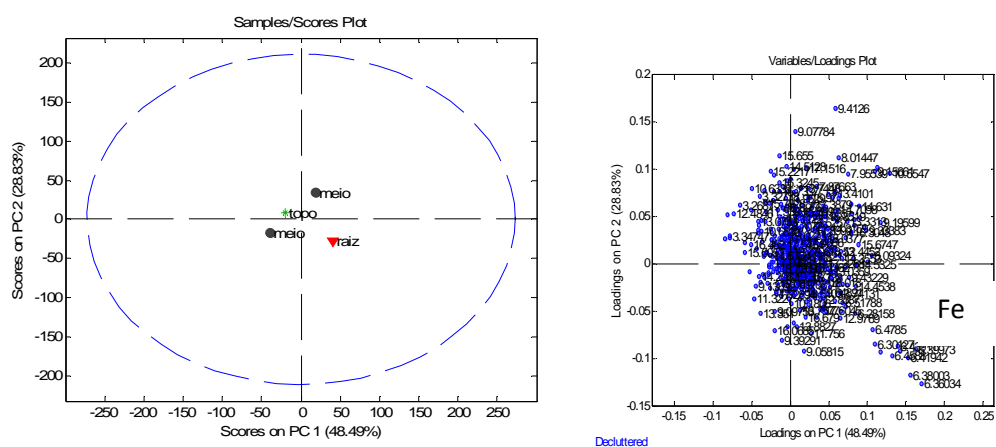


Figura 7: Gráficos de scores e loadings da raiz (▼), meio (●) e topo (*) de um caule de *Saccharum officinarum*, coletado em setembro de 2011.

Amostra com floração

Um problema que ainda não foi totalmente resolvido nas plantações de cana de açúcar é o florescimento, que apresenta, basicamente, os seguintes prejuízos : (i) no florescimento, o crescimento vegetativo do colmo é paralisado, com evidente perda do rendimento de açúcar; (ii) os colmos florescidos diminuem seu rendimento em açúcar, devido à formação da folha bandeira ou flecha; (iii) completado seu ciclo vital, o colmo florescido entra em senescência, permitindo brotações das gemas laterais; (iv) os prejuízos do florescimento são maiores, quando o colmo ainda se encontra em fase de crescimento; (v) colmos florescidos não podem ser armazenados no campo por muitos meses (RODRIGUES, 1995). O florescimento tem sido encarado como prejudicial no processo de acúmulo de sacarose, pois é comumente aceito que a formação da flor drena considerável quantidade de sacarose. Outro aspecto refere-se ao fenômeno do chochamento ou “isoporização”, relacionado com o florescimento e maturação da cana, o qual ocorre em algumas variedades e caracteriza-se pelo secamento do interior do colmo, a partir da parte superior. A intensidade do processo de florescimento e as conseqüências na qualidade da matéria-prima variam com a variedade e com o clima. A redução do volume de caldo é o principal fator no qual o florescimento interfere (SALATA, 1977, CAPUTO, 2007).

Foi realizado um PCA com 3 caules da amostra SP813250, totalizando 9 espectros (medidas em triplicata em cada caule). Os dados dos parâmetros de qualidade destas amostras (Tabela 1) e os gráficos de *scores* (Figura 8) mostram que a amostra com floração se agrupou com a amostra 1, enquanto a amostra 2 se diferenciou das demais. Neste caso, a XRF não apresentou diferença significativa entre as amostras.

Tabela 1: Parâmetros de qualidade da amostra SP 813250. As amostras 1 e 2 são duplicatas e a amostra 3 refere-se a um caule com floração.

Amostra	PBU (g)	% Umidade	% Sacarose	% Brix TC
SP 813250 1	135±5	31.2±0.1	23.09±0.01	23.5±0.1
SP 813250 2	140±5	23.4±0.1	23.54±0.01	24.4±0.1
SP 813250 3	145±5	33.0±0.1	22.78±0.01	23.4±0.1

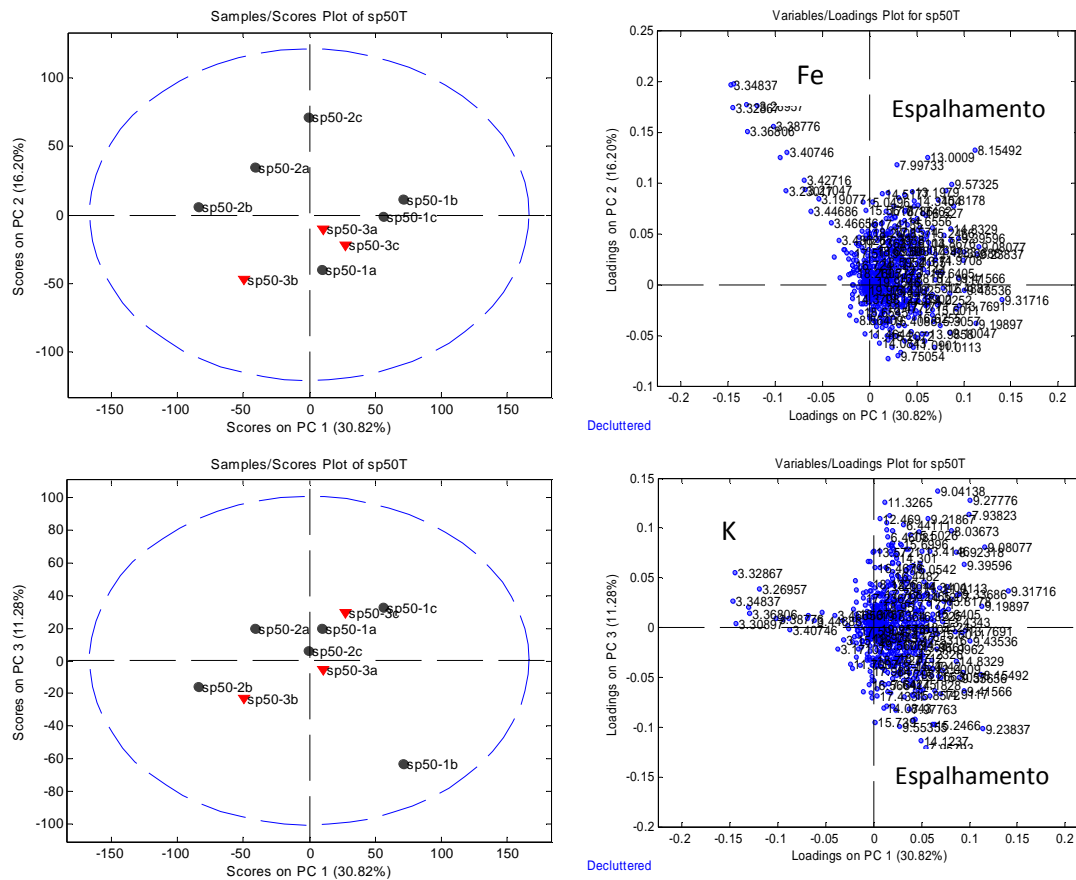


Figura 8: Gráfico de *scores* comparando a amostra SP813250 sem floração e com floração no caule.

CONCLUSÕES

A análise de PCA mostrou que não existe diferença significativa entre as medidas de XRF de caule no campo e até 5 horas após o corte. Sendo assim, esta metodologia tem potencial para previsão do índice de maturação da cana de açúcar sem retirada da planta, ou análise direta do colmo quando da chegada do mesmo nas refinarias.

Não há distinção entre as medidas feitas logo após a prensagem e com o caldo armazenado sob congelamento a -20°C e analisado posteriormente, o que evidencia uma baixa atividade da invertase sob baixas temperaturas.

A análise de PCA com as medidas em colmos próximos da raiz, no meio e no topo de um caule de cana de açúcar não foi capaz de identificar diferenças entre os pontos de mesmo caule na época estudada, indicando a possibilidade de se realizar a medida em qualquer colmo.

A XRF não identificou diferença significativa entre as amostras com e sem floração desta forma a metodologia não tem sensibilidade suficiente para discriminar diferenças nos teores de sacarose para este caso. .

De forma geral, a metodologia analítica de Fluorescência de Raios X com equipamento portátil apresentou resultados promissores para avaliação de parâmetros de qualidade da cana de açúcar, colocando-se como uma técnica alternativa para o setor sucroalcooleiro.

Agradecimentos

À FAPESP (projeto 2011_05860-2) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ANDRADE S.R.R., PORTO E., SPOTO M.H.F. Avaliação da qualidade do caldo extraído de toletes de cana-de-açúcar minimamente processada, armazenados sob diferentes temperaturas. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 28(Supl.): 51-55, dez. 2008.

BERTIN, E. P. *Principles and practice of X-ray spectrometric analysis*. London: Plenum Press, 1975. 1079 p.

BORTOLETO G.G, PATACA L.C.M., BUENO M.I.M.S., A new application of X-ray scattering using principal component analysis – classification of vegetable oils. *Anal. Chim. Acta*, v. 539, p. 283-287, 2005.

BUENO MIMS ; CASTRO, M. T. P. ; SOUZA, A.M.; OLIVEIRA, E.B.S.; TEIXEIRA, A.P. X-ray scattering processes and chemometrics for differentiating complex samples using conventional EDXRF equipment. *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, v. 78, p. 96-102, 2005.

CAPUTO M.M. et. al., Acúmulo De Sacarose, Produtividade E Florescimento De Cana-De-Açúcar Sob Reguladores Vegetais. *Interciencia* v. 32, p. 834-870, 2007.

CESAREO, R. X-ray physics: Interaction with matter, production, detection. *La Revista des Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica, Editrice Compositori*, Bologna, v. 23, n.76, p. 1-231, 2000.

CHANG W.H., Chen S., Tsai C.C. Development of a universal algorithm for uso NIR. in estimation of soluble solids in fruit juices. *Trans. ASAE* v. 41 p.1739–1745, 1988.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DO PARANÁ, CONSECANA-PR. *Normas operacionais de avaliação da qualidade da cana-de-açúcar*. 1. ed. Curitiba: FAEP, 2000.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CONSECANA-SP. *Manual de Instruções / Edição /*, Piracicaba-SP, 2006. 112 p.

GORAIEB, K., ALEXANDRE T.L., BUENO M.I.M.S., X-ray spectrometry and chemometrics in sugar classification, correlation with degree of sweetness and specific rotation of polarized light. *Anal. Chim. Acta* , v.595, p. 170–175, 2007.

ITURRA, A. R.; SILVA, F. C.; DIAZ-AMBRONA, C. G. H. Análisis de evolución de la producción de caña de azúcar y de etanol en Brasil. *Bioenergia em revista: diálogos*, v. 1, n. 2, p.31-50, jul./dez. 2011.

IVANOVA, J. U.; DJINGOVA, R.; KULEFF, I. Determination of some heavy and toxic elements in plants and soils with ED-XRF using ²⁴¹Am excitation sources. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Lousanne, v. 28, n. 1/2, p. 29-32, 1998.

JENKINS R., *X-ray Fluorescence Spectrometry*, 2nd ed., Wiley-Interscience, New York, 1999.

JOHNSON, T. P. Cane juice analysis by near infrared (NIR) to determine grower payment, *International Sugar Journal*. 2000, 102, 1223, 603-609.

LANE, H.; EYNON, L. Determination of reducing sugar by means of Fehling's solution with methylene blue as internal indicator. *Journal of the Society of Chemistry Industry*. v. 42, p. 32T-37T, 1993.

LIMA S.L.T., MELLO C., POPPI R.J. PLS pruning: a new approach to variable selection for multivariate calibration based on Hessian matrix of errors. *Chemometr. Intell. Lab. Syst.* v.76, p73–78, 2005.

MALAVOLTA E., *Manual de nutrição mineral de plantas*, Agronômica Ceres, São Paulo, 2006.

MELQUIADES F.L. et al. Monitoramento de metais nos lagos igapó em Londrina, PR, usando a metodologia de EDXRF. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 29, n. 2, p. 129-138, jul./dez. 2008.

NETO, B.B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. 25 anos de quimiometria no Brasil. *Química Nova*, v. 29, n. 6, p. 1401-1406, 2006.

RODRIGUES, J.D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista, 1995. 99p. (Apostila)

SALATA JC, FERREIRA LJ (1977) Estudo da interferência do florescimento nas qualidades agroindustriais de algumas variedades de cana-de-açúcar. *Brasil Açuc. v. 88, p. 19-24, 1977.*

SALGO A., NAGY J., MIKÓ É. Application of near infrared spectroscopy in the sugar industry. *J. Near Infrared Spectrosc. v. 6, p;A101–106, 1998.*

SHREVE, R. N.; BRINK Jr, J. A. *Indústria de processos químicos*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

SILVA, F.V. et al. A discriminação geográfica de águas minerais do Estado de São Paulo através da análise exploratória. *Eclética Química*, v. 27, p. 91-102, 2002.

SOROL N. et al. Visible/near infrared-partial least-squares analysis of Brix in sugar cane juice A test field for variable selection methods. *Chemometr. Intell. Lab. Syst. v. 102, p. 100–109, 2010.*

TEWARI J., MEHROTRA R., IRUDAYARAJ J. Direct near infrared analysis of sugar cane clear juice using a fibre-optic transmittance probe. *J. Near Infrared Spectrosc. v. 11, p. 351–356, 2003.*

VALDERRAMA P., BRAGA J.W.B., POPPI R.J. Validation of multivariate calibration models in the determination of sugar cane quality parameters by near infrared spectroscopy. *J. Braz. Chem. Soc. v.18, p. 259–266, 2007.*

VALDERRAMA P., BRAGA J.W.B., POPPI R.J. Variable Selection, Outlier Detection, and Figures of Merit Estimation in a Partial Least-Squares Regression Multivariate Calibration Model. A Case Study for the Determination of Quality Parameters in the Alcohol Industry by Near-Infrared Spectroscopy. *Agric. Food Chem. v. 55, p 8331–8338, 2007.*

VÁZQUEZ C., BOCYKENS S., BONADCO H., *Talanta*, 2002, 57,1113

WILEY, R. C. *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Zaragoza: Acribia, 1997. 362 p.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 2, p. 37-52, 1987.

1 Fábio Luiz MELQUIADES é doutor em Física pela Universidade Estadual de Londrina (2007), Pós-doutorado no Instituto de Química da UNICAMP (2012). Desde 2000 é professor do Departamento de Física da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Tem experiência na área de Física Nuclear Aplicada e Métodos não destrutivos de análise, atuando principalmente nos seguintes temas: espectrometria de raios gama e fluorescência de raios X, com ênfase em amostras ambientais.

2 Gisele G. BORTOLETO é Doutora em Ciências pelo IQ-UNICAMP (2007). Realizou pós-doutoramento no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA-USP (2007-2008). Atualmente é professora e coordenadora do curso Biocombustíveis da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – Centro Paula Souza, atuando nas seguintes áreas: controle analítico da produção de bioetanol, biodiesel e cachaça.

3. Fernanda F. NEME é Tecnóloga em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba.

4 Ariel TON é Tecnólogo em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba.

5 Luis Fernando S. MARCHIORI é engenheiro agrônomo. Doutor em Agronomia, área de concentração Fitotecnia pela Universidade de São Paulo (2004). Atualmente é Diretor Técnico da Estação Experimental Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Manejo e Tratos Culturais.

5 Maria Izabel MARETTI é doutora em Ciências (1990) e livre-docente (2005). Todos estes títulos foram conferidos pela Universidade Estadual de Campinas, onde, desde 1984, é professora atuante em tempo integral. Atua principalmente nos seguintes temas: espectrometria de raios-X e quimiometria.