

ANÁLISE EXPLORATÓRIA MULTIVARIADA DA VARIABILIDADE TEMPORAL DA MATUREZA DA CANA DE AÇÚCAR

CARDOZO, N.P.¹, SENTELHAS, P.C.², PANOSSO, A.R.³, FERRAUDO, A.S.⁴, IDE, B.Y.⁵

¹Eng. Agrônomo, Pós-Graduando PPG Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11- CP 9 - Piracicaba/SP-CEP 13418-900, Fone: 3429-4283 R: 236, E-mail: nilceu.cardozo@usp.br

² Prof. Associado Departamento de Engenharia de Biosistemas ESALQ/USP

³ Eng. Agrônomo, Dr. Produção Vegetal, Departamento de Ciência Exatas, UNESP, Jaboticabal-SP

⁴ Prof. Assistente Doutor Departamento de Ciência Exatas, UNESP, Jaboticabal-SP

⁵ Eng. Agrônomo MS, COSAN

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

Resumo: A maturação da cana de açúcar é um processo altamente correlacionado a fatores varietais e à interação dos genótipos com clima local. Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a variação temporal da maturação da cana-de-açúcar respeitando a estrutura multivariada contida nos dados, relacionando os resultados com as condições climáticas locais. Foram avaliadas 8 cultivares de cana de açúcar em 32 amostragens realizadas de março a outubro de 2003 em Piracicaba, SP. Características relacionadas à qualidade de matéria-prima da cana de açúcar (ATR, AR, ART, Pureza, Brix, POL, fibra e umidade) foram submetidas à análise de agrupamento por método hierárquico, visando classificar as cultivares em grupos a cada mês de amostragem. Foi possível identificar padrões de similaridade entre cultivares de cana-de-açúcar, o que contribuiu para estabelecer grupos para manejo de colheita e também variações internas nos grupos bem como entre eles, explicadas principalmente pelas condições hídricas locais. A partir de agosto as diferenças entre grupos praticamente desaparecem, justamente quando as condições de déficit hídrico atingem seus valores máximos.

Palavras-chave: balanço hídrico, modelagem, análise multivariada, análise de agrupamento.

Multivariate exploratory analysis of temporal variability of sugarcane ripening

Abstract: Sugarcane ripening is highly correlated to varietal factors and the interaction of genotypes with the local climate. Therefore, the purpose of this study was to characterize the temporal variation of sugarcane ripening in a multivariate analysis comparing the results with the local climate. We evaluated eight cultivars of sugarcane in 32 samples collected from March to October 2003 in Piracicaba, SP, Brazil. Variables related to sugarcane quality (ATR, AR, ART, Purity, Brix, POL, fiber and moisture) were assessed using hierarchical clustering analysis in order to classify the cultivars into groups. The results indicated that the method of cluster analysis is a technique that allows the identification of patterns of similarity among sugarcane cultivars, allowing to establish groups of harvesting management. Additionally, groups and differences between them varied over time, mainly due to local water conditions. The differences between groups in August almost disappear, exactly when the water deficit conditions reached their maximum values.

Keywords: water balance, modeling, multivariate analysis, cluster analysis.

Introdução: Em áreas tropicais, onde a temperatura não limita o crescimento da cana-de-açúcar, o amadurecimento é induzido pela exaustão dos suprimentos de nitrogênio e água do solo (ALEXANDER, 1973). Esses fatores restringem a elongação do internódio, resultando

no aumento do conteúdo de sacarose pela reduzida demanda de fotoassimilados nas regiões meristemáticas. Segundo Alexander (1973), a maturação da cana-de-açúcar pode ser determinada pelos parâmetros tecnológicos Brix, Pol, Pureza e Açúcares Redutores entre outros. O conhecimento das características de maturação de cada cultivar é essencial para os programas de melhoramento genético, os quais a caracterizam de maneira tradicional e univariada (variação dos teores de pol ou ATR no tempo). A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta de obtenção de quantidade maior de informação que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados (BEEBE et al., 1998). Na estatística multivariada, o fenômeno depende de muitas variáveis, com isso não basta conhecer as variáveis isoladas, mas conhecê-las na sua totalidade, pois uma depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (GROBE, 2005). Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a variação temporal da maturação da cana-de-açúcar de forma multivariada, relacionando os resultados com as condições climáticas locais.

Material e Métodos: O presente experimento foi realizado em área pertencente à Usina Costa Pinto, localizada em Piracicaba, SP, no período de março de 2002 (plantio) a 2003 (amostragens). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com oito cultivares e 3 repetições. Cada parcela constou de 4 linhas de 15 metros, com espaçamento de 1,4 m. Foram avaliadas 8 cultivares de cana de açúcar, sendo elas: SP91-1049, SP86-42, SP90-3414, SP86-155, SP87-365, SP83-2847, RB928064 e RB867515. As condições climáticas do período foram caracterizadas pela disponibilidade hídrica, calculada a partir do balanço hídrico sequencial (THORNTHWAITE & MATHER, 1955), realizado em escala decendial (CAD = 75 mm). Os dados meteorológicos foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP (22°42'30"S; 47°30'00"O; 546 m). Foram realizadas amostragens ao longo de 8 meses, com determinação dos teores de açúcares redutores (AR), Brix, açúcares redutores totais (ART), pureza, POL%cana, ATR, fibra e umidade, segundo padrões do CONSECANA. Para avaliar as hipóteses estatísticas de homocedasticidade das variâncias e normalidade dos resíduos, foram realizados os testes de Levene ($p > 0,05$) e de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), não sendo necessária a transformação dos dados. Foi aplicada a análise de agrupamento por método hierárquico, visando classificar as cultivares em grupos a cada mês de amostragem. A análise foi processada aos valores padronizados da análise tecnológica, das citadas cultivares, resultando em média nula e variância unitária (HARTINGAN, 1975). A não-padronização poderia levar a inconsistências nas soluções das duas técnicas, já que a maioria das medidas de distância é bastante sensível a diferentes escalas ou magnitudes das variáveis. As técnicas de agrupamento são classificadas no contexto das análises multivariadas como técnicas de interdependência, nas quais nenhuma variável é definida como independente ou dependente, pois o processo envolve a análise simultânea de todas as variáveis em conjunto. A análise de agrupamento (SNEATH & SOKAL, 1973) foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto das oito variáveis, e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de cultivares similares. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos das cultivares a cada mês da safra e a alteração nos grupos ao longo do tempo.

Resultados e discussão: Os dendrogramas resultantes das análises de agrupamento por método hierárquico são apresentados na figura 1, com cada gráfico (de A a G) representando um mês da safra (março a outubro).

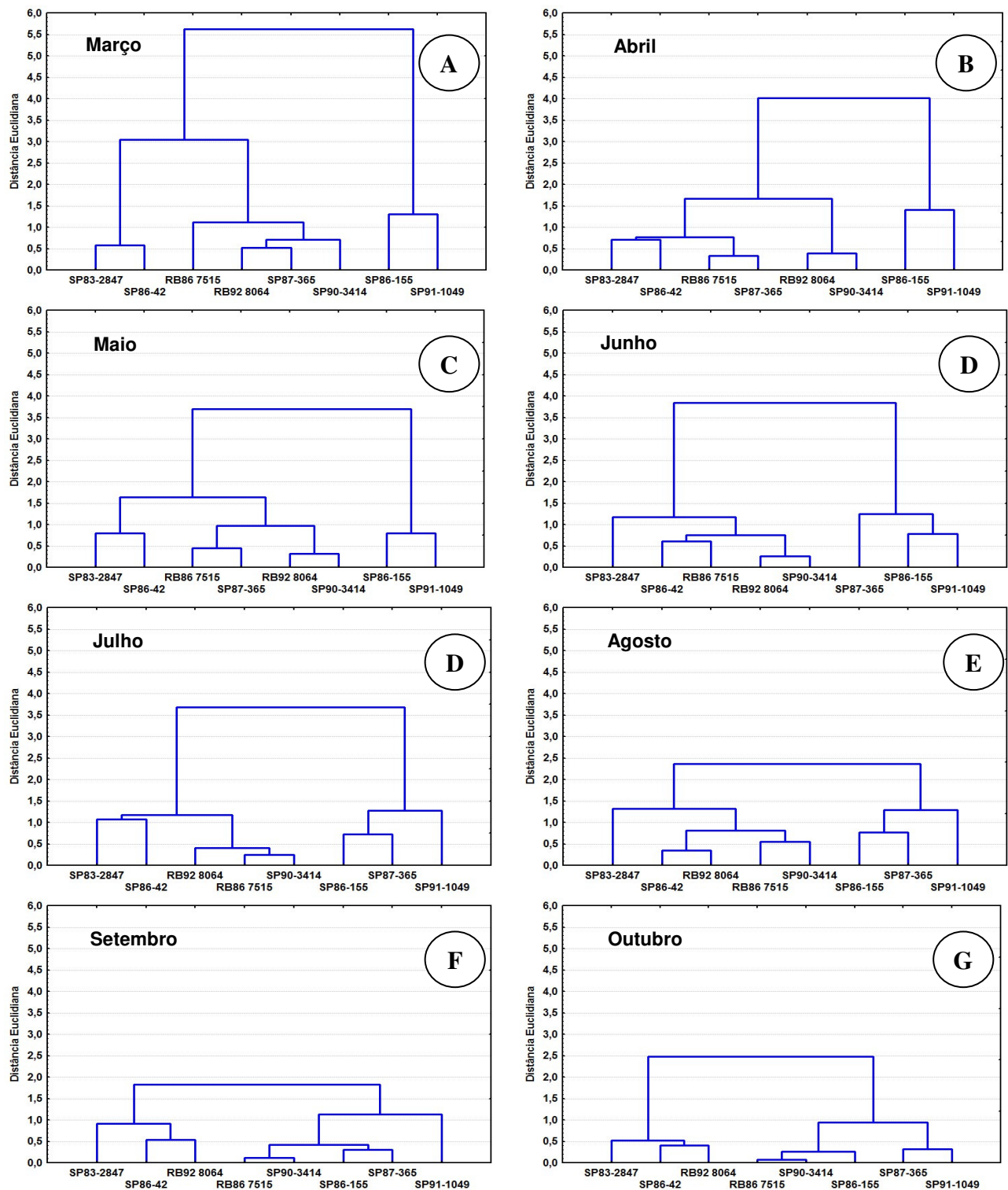


Figura 1. Dendrogramas resultantes da análise de agrupamento por método hierárquico construídos a partir de variáveis de qualidade da matéria prima de cultivares de cana-de-açúcar para cada mês da safra.

Como pode ser observado, em março as diferenças (expressas pelas distâncias euclidianas e o posicionamento das cultivares) entre grupos são muito mais evidentes do que nos demais meses, com os cultivares SP91-1049 e SP86-155 sobressaindo-se em termos de maturação (mais precoces), perante as demais. Um segundo grupo de cultivares (SP90-3414, SP87-365, RB928064, RB867515) compõe um grupo de maturação intermediária (médias),

com considerável diferença em relação às mais precoces. Finalmente, um terceiro grupo pode ser observado, de maturação mais tardia e formado pelas cultivares SP83-2847 e SP86-42. Segundo Horii (2004), as cultivares de cana-de-açúcar são agrupadas em precoces (quando apresentam um teor de Pol acima de 13% no início de maio), médias (quando atingem a maturação em julho) e tardias (pico de maturação em agosto/setembro). Em abril e maio nota-se uma tendência de diminuição das diferenças, ou seja, da distância euclidiana entre os três grupos destacados, principalmente entre os grupos de maturação média e tardia. Essa diminuição nas diferenças acompanhou a redução da disponibilidade hídrica a qual é apresentada no balanço hídrico sequencial (ver Figura 2). As setas azuis indicam momentos de condições plenas de satisfação hídrica, enquanto as setas vermelhas indicam momentos de déficit hídrico. No mês de março a disponibilidade hídrica era plena, contudo a partir de abril o déficit hídrico se intensificou até o final de maio. Segundo Robertson e Donaldson (1998), o déficit hídrico moderado promove aumentos na concentração de sacarose e teor de matéria seca de até 15%. Contudo, a partir de junho e julho, quando o esperado seria a intensificação da similaridade entre as cultivares, observa-se um movimento contrário, ou seja, aparente aumento das diferenças entre grupos (expresso pelos valores de distância euclidiana), principalmente entre as cultivares precoces em relação às demais (médias e tardias). Esse fato é explicado pela precipitação ocorrida ao final do mês de maio e início do mês de julho, visível no balanço hídrico sequencial (indicados pelas setas azuis 2 e 3) e que promoveram uma atenuação temporária da intensificação do déficit hídrico. A disponibilidade hídrica promove redução na qualidade da matéria-prima, aumento nos valores de açúcares redutores e redução nos teores de pol%cana. Além disso, a reação mais acentuada das cultivares precoces à disponibilidade hídrica é devida às mesmas serem fisiologicamente mais preparadas para alternar entre as fases de crescimento vegetativo e maturação (MAMET e GALWEY, 1999). Outro fato a ser ressaltado é que a cultivar SP87-365 passou a integrar o grupo das cultivares de maior potencial.

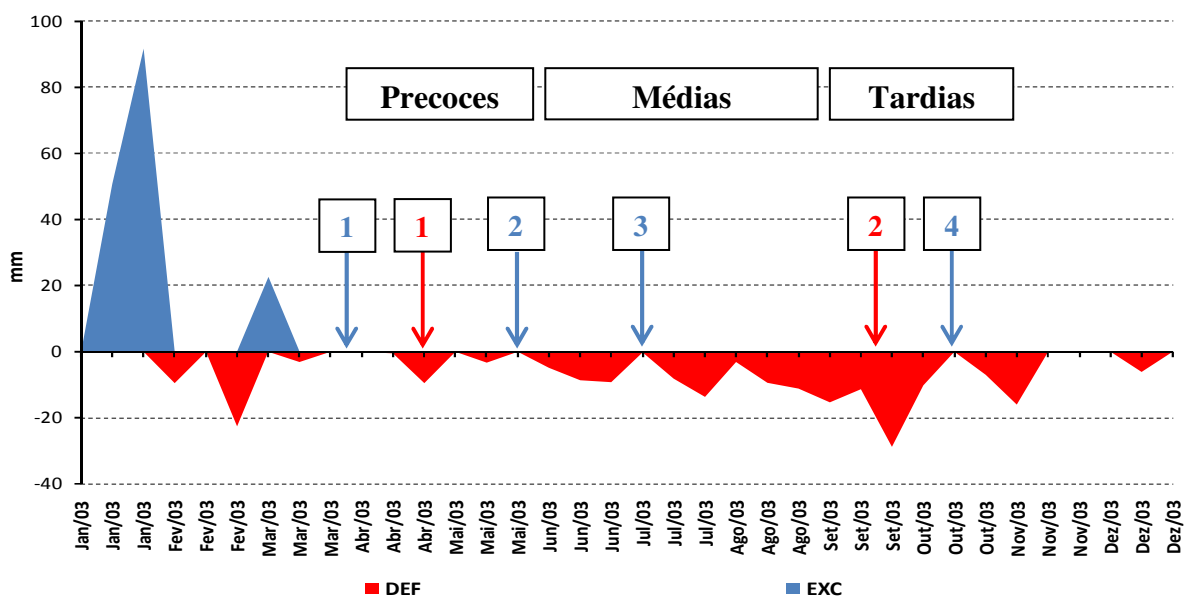


Figura 2. Balanço hídrico sequencial de janeiro a dezembro de 2003 em Piracicaba, SP.

A partir de julho, as condições de déficit hídrico se estabeleceram e alcançaram valores máximos em agosto-setembro (seta vermelha 2). Com isso, as diferenças entre as cultivares (de todos os grupos de maturação) praticamente se tornaram inexistentes, embora as cultivares mais ricas (p.e. SP91-1049) e mais pobres (SP83-2847) ainda tenham mantido suas posições dentro do grupo. Diante disso, pode-se dizer que o déficit hídrico, acumulado ao

longo dos meses, tornou-se o fator mais importante para a maturação nesse momento da safra (ROBERTSON e DONALDSON, 1998). Contudo, fatores varietais também são importantes, pois dão ao cultivar o potencial que será confirmado, ou não, pela ação do clima. Esse fato é confirmado por Stuppiello (1987), o qual relata que as cultivares médias jamais alcançam os valores máximos das cultivares ricas (precozes), o mesmo acontecendo com as cultivares pobres (tardias) em relação às médias. Assim, a classificação de cultivares em precoces, médias e tardias é arbitrária e devida apenas à conveniência de manejo na safra, pois as cultivares precoces são naturalmente mais ricas que as demais (médias e tardias) e mantém essas características a menos que haja alguma forma de degradação (florescimento, isoporização, entre outros).

Finalmente, no período de outubro-novembro, embora ainda tenha havido déficit hídrico, o volume de chuvas foi considerável (seta azul 4), fato que modificou as condições climáticas a que estavam expostas as últimas amostras de cana realizadas, com reflexos na qualidade do caldo e nos resultados da análise tecnológica aumentando as diferenças entre grupos (cultivares precoces começaram a alternar seu comportamento de maturação para retomar o crescimento vegetativo mais rapidamente do que as cultivares mais tardias).

Conclusões: O presente trabalho permite concluir que:

- 1) A análise de agrupamento por método hierárquico permitiu a identificação de grupos de maturação de cultivares de cana-de-açúcar de forma multivariada, ou seja, considerando todas as variáveis relacionadas à maturação e, portanto, de forma muito mais completa que os métodos tradicionais (univariados);
- 2) As diferenças entre os grupos formados (muito aparentes até maio) tornam-se aparentemente inexistentes em agosto-setembro, porém as cultivares mais “ricas” e mais “pobres” mantiveram essa característica ao longo da safra, indicando que o potencial genético das cultivares têm grande importância na magnitude de sua resposta, em termos de acúmulo de sacarose, ao clima local;
- 3) Períodos com déficit hídrico promovem inversão na sacarose e alternância de um estado de acúmulo de sacarose (maturação) para condição de desenvolvimento vegetativo, o qual é mais intenso nas cultivares precoces;

Referências bibliográficas

- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.
- BEEBE, K.R.; PELL, R.J. & SEASHOLT, M.B. **Chemometrics: A practical guide**. New York, John Wiley & Sons, 1998. 348p.
- GROBE, J.R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 145p.
- HARTIGAN, J. A. **Clustering Algorithms**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1975.
- HORII, J. A qualidade da matéria-prima, na visão agrícola. **Visão Agrícola**, v.1, n.1, 2004, p.91-93.
- MAMET, L.D.; GALWEY, N.W.. A relationship between stalk elongation and earliness of ripening in sugarcane, **Experimental Agriculture**, v.35, p.283-291, 1999.
- ROBERTSON, M.J.; DONALDSON, R.A. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off of sugarcane before harvest. **Field Crops Res.** v.55, p.201-208, 1998.
- SNEATH, P.H. & SOKAL, R.R. **Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification**. San Francisco, W.H. Freeman, 1973. 573p.
- STUPIELLO, J. Cana-de-açúcar como matéria-prima. In: Fundação Cargill. **Cana-de-açúcar cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.2, p.761-804.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).