

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Avaliação da fração carboidratos solúveis em cana-de-açúcar para animais

Edward Hernando Cabezas-Garcia

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Ciências Animal e Pastagens

**Piracicaba
2011**

Edward Hernando Cabezas-Garcia
Zootecnista

Avaliação da fração carboidratos solúveis em cana-de-açúcar para animais

Orientador:
Prof. Dr. **LUIZ GUSTAVO NUSSIO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Cabezas-Garcia, Edward Hernando
Avaliação da fração carboidratos solúveis em cana-de-açúcar para animais /
Edward Hernando Cabezas-Garcia. - - Piracicaba, 2011.
118 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Análise multivariada 2. Cana-de-açúcar 3. Carboidratos 4. Digestibilidade
5. Nutrição animal 6. Ruminantes 7. Valor nutritivo I. Título

CDD 636.2085
C114a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedico este

Aos meus pais **Hermógenes Cabezas Pulido &**
Maria Ligia García de Cabezas (*in memoriam*)

Além de serem a gênese da minha vida, grandes exemplos de coragem e determinação

Ofereço

Aos meus irmãos **Diana, Ligia, Luisa, Felipe**, pelo amor incondicional
A **Gabrielina Olave Hernández**, eu jamais vou esquecer seus conselhos Gaby
Ao **Jerónimo**, quem com a sua inocência vem iluminar as nossas vidas...!

AGRADECIMENTOS

O Deus, força criadora de todo o existente e em constante retroalimentação.

Ao **Brasil**, maravilhosa nação cheia de contrastes onde vivi um dos capítulos mais lindos e desafiadores da minha vida.

Ao **Prof. Dr. Luiz Gustavo Nussio**, pela confiança depositada, impecável orientação e sobre tudo pela grande amizade.

A todos **os meus familiares na Colômbia**, que sempre acreditaram em mim e torceram para alcançar este grande objetivo: tios, primos, avós, e os que vêm.

A **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”** e a coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens pela oportunidade de desenvolvimento do curso de Mestrado.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pela concessão da bolsa de estudos.

A **equipe de Qualidade e Conservação de Forragens (QCF) da ESALQ/USP**, em especial a: Rodrigo Silva Goulart, Maity Zopollatto, Gisele Bonato Muraro (*in memoriam*), Rafael Camago do Amaral, João Luiz Pratti Daniel, Janaina Rosolem Lima, Sergio Gil de Toledo Filho, Vanessa Pillon dos Santos, Adir de Sá Neto, Álvaro Wosniak Bispo, Daniel Hunges, Ana Luiza Bachmann Schogor, Rodrigo Dener Ribeiro Tabone Thiago, além de todos os estagiários que passaram durante a minha estada. Obrigado pelo convívio e a troca de experiências de um time muito competente.

Ao meu colega e grande amigo **MSc. José Guillermo Muñoz Maldonado** quem sempre me incentivou realizar meus estudos de Pós-graduação no Brasil.

Ao **Prof. Dr. André Ricardo Alcarde** e sua equipe do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição (LAN) pela ajuda nas análises de carboidratos e valiosas sugestões durante a elaboração da dissertação.

Ao **Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias** do Departamento de Ciências Exatas (LCE) pela diligência e auxílio nas análises estatísticas.

A todos **os professores e funcionários do Departamento de Zootecnia (LZT)**, pelos grandes ensinamentos transmitidos durante minha passagem pelo programa, em especial: Prof. Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira, Prof. Dr. Sila Carneiro da Silva, Prof. Dr. Jose Eurico Possebon Cyrino, Prof^a. Dra. Patrícia Menezes Santos, Prof. Dr. Gerson Barreto Mourão, Prof.

Dr. Flavio Augusto Portela Santos, Sr. Carlos César Alves pelo auxílio nas análises laboratoriais e Sra. Tânia Armelindo pelos cuidados.

Ao intelectual e emérito professor de inglês, **Carlos Augusto Bianchi** pela alegria contagiante e sempre acreditar em seus alunos.

Aos **colegas da Pós-Graduação**: Johanna, Monique, Evandro, Aliedson, Gregori, Damião, Renan, Alonso, Daví, Cleo, Carlos Eduardo, Thiago, Simone, Marcão Shleiden, Marília, Vítor, Diego, Valdson.

Aos **professores e colegas de graduação da FMVZ - Universidad Nacional de Colombia** (Colômbia), que contribuíram significativamente com a minha formação como Zootecnista: Prof. Dr. Germán Afanador Téllez, Prof. Dr. Carlos Manrique Perdomo, Prof. MS. Gustavo Álvaro Wills Franco, Prof. MS. Edgar Alberto Cárdenas Rocha, MSc. Daniel Eduardo Rodríguez Aguilar, Zoot. Henry Millán Díaz.

Aos amigos da gloriosa **República “Viola Quebrada”**, por tantos momentos de descontração e por me acolherem como um irmão brasileiro: Rodrigo, Delci, Salim, Adenilson, Marcos, Roberto, César, Marconi, Vanderson e o agregado João Paulo (Botucatu). Muito orgulho!

A **galera da América Latina presente na ESALQ**, eu deixo a minha homenagem para todos nós: Colombianos, peruanos, argentinos, equatorianos, porto-riquenhos, paraguaios, venezuelanos. Aquelas festas “latinas”, reuniões, risadas e conversas serão inesquecíveis, obrigado por me lembrar das minhas raízes!

Aos **colegas e irmãos de pátria**, Diana Rueda, Eleonora Zambrano, Silvia Barrera, Esteban Galeano, pela força e parceria durante as longas jornadas de trabalho, além das valiosas sugestões durante a fase de redação da presente dissertação.

Aos meus estudantes e colegas do curso “**Administración y Producción Agroindustrial**” da **Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN)** (Colômbia), durante meu passo como professor no ano de 2007.

E também aos que não foram citados aqui e colaboraram de alguma ou outra maneira para a realização deste trabalho. **OBRIGADO MESMO!.**

BIOGRAFIA

EDWARD HERNANDO CABEZAS GARCIA, filho de Hermógenes Cabezas Pulido e Maria Ligia Garcia de Cabezas, nasceu em Bogotá, D.C., Colômbia, no dia 1 de junho de 1980.

Em Julho de 2005 concluiu o curso de Zootecnia pela FMVZ - Universidad Nacional de Colombia (Colômbia).

Em Agosto de 2009 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, onde se dedicou a estudos relacionados com qualidade e conservação de forragens.

*"La vida no es la que uno vivió, sino la que uno recuerda, y cómo
la recuerda para contarla..."*

Gabriel García Márquez

SUMARIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Carboidratos na cana-de-açúcar.....	20
1.2 Dinâmicas de acúmulo de sacarose	21
1.3 Métodos utilizados para descrever o teor de carboidratos solúveis alimentos para animais	23
1.4 Valor nutritivo dos carboidratos da cana-de-açúcar	29
1.5 Implicações e futuro direcionamento das pesquisas.....	31
Referencias	32
2 DINÂMICA DA FRAÇÃO DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS COM O AVANÇO DA MATURIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR	40
Resumo	40
Abstract:	40
2.1 Introdução.....	41
2.2 Material e Métodos.....	43
2.2.1 Local experimental	44
2.2.2 Clima e solo	44
2.2.3 Variedade IAC 86-2480.....	46
2.2.4 Tratamentos	46
2.2.5 Amostragens no campo	46
2.2.6 Preparo de amostras.....	47
2.2.7 Obtenção de extratos para a determinação da fração solúvel.....	47
2.2.8 Determinação dos teores de CS	48
2.2.9 Análises bromatológicas.....	49
2.2.10 Análises estatísticas	49
2.3 Resultados.....	51
2.3.1 Métodos de colheita.....	52
2.3.2 Dinâmicas de acúmulo de carboidratos solúveis.....	54
2.3.3 Relações FDN/CS e digestibilidade	60
2.3.4 Análise de componentes principais (ACP): fração colmo.....	62
2.3.5 Análise de componentes principais: fração planta inteira	65
2.4 Discussão	69
2.5 Conclusões.....	77
Referências	77
3 PREDIÇÃO DO TEOR DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS E DIGESTIBILIDADE EM CANA-DE-AÇÚCAR	84
Resumo	84
Abstract:	84
3.1 Introdução.....	85
3.2 Material e métodos	86

3.2.1	Local experimental.....	86
3.2.2	Procedimentos no campo	88
3.2.3	Medidas morfológicas da cultura: avaliação agronômica.....	89
3.2.4	Análises de carboidratos solúveis (CS).....	90
3.2.4.1	Preparo de amostras	90
3.2.4.2	Obtenção de extratos para a determinação da fração solúvel	90
3.2.4.3	Determinação dos teores de CS	91
3.2.5	Análises bromatológicas	92
3.2.6	Análises estatísticas.....	93
3.3	Resultados	94
3.3.1	Tipo de adubação no plantio	94
3.3.2	Curvas de acúmulo de CS e determinação do ponto de maturação	97
3.3.3	Regressões simples: predição dos teores de CS.....	99
3.3.4	Regressões simples: predição de MS e digestibilidade.....	100
3.3.5	Regressões múltiplas: predição dos teores de CS	102
3.3.6	Regressões múltiplas: predição de MS e digestibilidade	105
3.4	Discussão	107
3.5	Conclusões	114
	Referências.....	114

RESUMO

Avaliação da fração carboidratos solúveis em cana-de-açúcar para animais

Objetivou-se com este estudo comparar diferentes métodos de determinação de carboidratos solúveis (CS) em cana-de-açúcar com o intuito de prever valor nutritivo da forragem: conteúdo de sólidos solúveis (BRIX), conteúdo aparente de sacarose (POL), carboidratos não fibrosos (CNF), carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) e carboidratos solúveis em extrato alcoólico (CSOH). Foram conduzidos dois experimentos envolvendo amostras da fração colmo e planta inteira. O primeiro avaliou o valor nutritivo da variedade IAC 86-2480 (terceiro corte) em resposta a dois métodos de colheita: colheita manual (MAN) e colheita mecânica (MEC) durante as fases de cultivo: 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 dias após colheita (DAC). As estimativas do CS, composição bromatológica (MS, CP, FDN, FDA, DIVMS e DIVMO), assim como da relação FDN/CS foram similares ($P > 0,05$) entre os tratamentos, exceto para CSOH e FDN/CSOH para a fração colmo, e FDN/POL ($P < 0,05$) para a planta inteira. O conteúdo de CS da planta inteira representou aproximadamente 80% do teor observado na fração colmo. Foram identificados três padrões de acúmulo de CS: a) POL e CSOH, b) BRIX, c) CNF. O modelo logístico não ajustou na predição de CSA. Até os 240 e 270 DAC, as relações entre FDN/BRIX e FDN/POL seguiram a mesma tendência para os métodos MAN e MEC respectivamente. Relações entre FDN/CS foram altamente correlacionadas com a digestibilidade da forragem, especialmente a relação FDN/CNF ($r > 0,8$). A análise de componentes principais provou ser ferramenta útil para selecionar variáveis com o intuito de caracterizar valor alimentar em cana-de-açúcar. De acordo com o primeiro componente principal, o valor nutritivo é uma resposta de variáveis bromatológicas da fração fibrosa (ex. FDN, FDA), correspondendo a 54,4 e 64% da variância total da fração colmo e planta inteira respectivamente. No segundo experimento, foram avaliadas possíveis relações entre medidas morfológicas e químicas da planta visando explicar o acúmulo de CS e o valor nutricional da cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046), estabelecida sob dois níveis de adubação no plantio (NPK e NPK associada com esterco – 120 kg N ha^{-1}) ao longo da fase de maturação da planta em cana de primeiro corte. As amostras foram colhidas manualmente durante os períodos de 300, 360, 420 e 540 dias após plantio (DAP). Não houve efeito ($P > 0,05$) da adubação na concentração de CS, a exceção das folhas secas (FS), CSA e minerais, na fração colmo. Três padrões de acúmulo de CS foram identificados nas duas frações morfológicas da planta: a) BRIX e CSOH; b) CNF e c) CSA. Embora POL não fosse considerada nesse experimento, as análises das curvas de CS (BRIX e CSOH) confirmaram que a cana atingiu a maturidade no mês de setembro como reportado na literatura. Regressões simples e múltiplas foram consideradas para prever o acúmulo de CS, MS e o valor nutricional (digestibilidade). O modelo univariado apenas considerou variáveis químicas na predição, exceto para o teor de BRIX. Equações do tipo *stepwise* melhoraram o ajuste dos modelos (R^2 e RQMR) ao considerar variáveis morfológicas, sendo a mais importante nas predições, o número de nós da fração colmo (NN). As equações para MS e CSA tiveram o menor poder de predição tanto nas regressões simples quanto nas múltiplas. A fração FDA foi a principal variável que explicou o valor nutritivo em amostras de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Análise multivariada; Digestibilidade; Equações de predição; Relações FDN/CS

ABSTRACT

The evaluation of sugarcane soluble carbohydrate fraction for animal feeding

The objective of this research was to compare some potentialities of soluble carbohydrate (SC) methods currently used in sugarcane for animal feeding purposes: soluble solid content (BRIX), apparent sucrose content (POL), non fibrous carbohydrates (NFC), water soluble carbohydrates (WSC) and ethanol soluble carbohydrates (EtOH). Two trials involving stalk and whole plant sugarcane samples were conducted. The first trial evaluated the nutritive value of IAC 86-2480 variety (second growth) in response to two harvesting methods: manual (MAN) and mechanical (MEC) along of crop growing phase: 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 and 360 days after harvesting (DAH). The SC estimative, chemical composition (DM, CP, NDF, ADF, IVDDM and IVOMD) and NDF/SC relationships were similar ($P > 0.05$) across treatments, except for EtOH and NDF/EtOH relationship at stalk and NDF/POL ($P < 0.05$) at whole plant being MAN and MEC of those cases, respectively more advantageous for each. The whole plant SC content reached represents closer to 80% of total content observed in the stalk fraction. Were identified three typical SC accumulation patterns: a) POL and EtOH, b) BRIX, c) NFC. Until 240 (MAN) and 270 (MEC) DAH, the standardized NDF/BRIX and NDF/POL stalk relationships followed the same trend. NDF/SC relationships were highly correlated with forage digestibility, especially NDF/NFC ($r > 0.8$). Principal Component Analysis proved to be an useful tool to select variables in order to explain sugarcane feeding value. Therefore as described at the first principal component, the sugarcane feed value is in function of forage fibrous fraction (ex. NDF, ADF), corresponding to 54.4% (stalk) and 64.0% (whole plant) of total variance respectively. The second trial studied possible relationships established between both morphological as chemical plant measurements that could explain SC accumulation and feeding value of IAC 93-3046 variety, under two levels of fertilisation at planting (NPK and NPK associated with cattle manure – 120 kg N ha^{-1}) along of ripening phase under plant crop conditions. Forage samples were collected manually at 300, 360, 420 and 540 days after planting (DAP). There was no effect ($P > 0.05$) of fertilisation on SC dynamics, chemical composition and morphological crop variables, with the exception to dry leaves (DLEAF), water soluble carbohydrates (WSC) and minerals (ASH), in stalk fraction ($P < 0.05$). The age of plant was the main factor responsible of the observed variability. Three SC patterns in sugarcane during this phase were identified: a) BRIX and EtOH, b) NFC e c) WSC. Although POL was not considered in this trial, the analysis of SC curves showed that BRIX and EtOH also reached to maturity in September conforming literature. Simple and multiple (stepwise) regressions were considered to predict SC, DM accumulation and feeding value (digestibility). The univariate models only considered chemical variables to prediction, except to BRIX. Stepwise equations have account also morphological crop variables to improve statistical prediction (R^2 , RMSE), being the most important: number of nodes (NN). Predictions of DM and WSC had the lowest power performed through simple and multiple equations. ADF fraction best fitted to feeding value prediction (IVDMD, IVOMD) in sugarcane samples.

Keywords: Digestibility; Multivariate analysis; NDF/SC relationships; Prediction equations

1 INTRODUÇÃO

A expansão do plantio da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o desenvolvimento da indústria sucroalcooleira no Brasil, nas últimas décadas, permitiram diversificar a utilização desta cultura como alternativa de suplementação volumosa para ruminantes. Contudo, é paradoxal que o setor canavieiro no Brasil mesmo sendo um dos mais eficientes do mundo, quando esta cultura é destinada ao uso forrageiro nota-se ainda baixa produtividade de matéria seca por hectare (MS ha⁻¹) em relação às lavouras destinadas para usina; fato provavelmente associado ao ínfimo investimento em pesquisa multidisciplinar especialmente na junção entre às áreas que envolvem o melhoramento genético vegetal e a nutrição animal (THIAGO, 2009). Como exemplo, apenas no ano de 2002 é que foi lançada pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) a primeira variedade selecionada estritamente como forrageira, a IAC 86-2480 (LANDELL, 2002).

O conhecimento do potencial forrageiro da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes ainda não tem sido explorado o suficiente quando comparado com outras culturas, porém os resultados de pesquisa justificam sistemas de produção intensivos com capacidade potencial acima dos 5000 kg PV ha⁻¹ (PRESTON, 1995), devido à alta produção de matéria seca digestível por hectare (15 - 20 ton. NDT) e a safra coincidente com o período de queda da produção de biomassa das pastagens (SCHMIDT, 2009).

Nem sempre houve consenso no assunto, já que o conceito de valor nutritivo em relação a este volumoso tem mudado radicalmente desde os estudos pioneiros de divergência bromatológica das variedades (LOVADINI et al., 1967). Acreditava-se no passado que para que a cana-de-açúcar fosse considerada como forrageira, precisava estar apoiada nas seguintes características: apresentar grande produção de biomassa, bom perfilhamento, possibilidade de mais de um corte anual, ser isenta de joçal, grande proporção de folhas e colmos em relação à massa verde total, ter alto teor de proteína bruta e BRIX inferior a 12 (SILVA, 1995; BOIN et al., 1987). As variedades que apresentavam estas características não eram utilizadas nas usinas por conta do menor teor de sacarose no caldo e alto teor de fibra, “encaixando” na descrição das características desejáveis para outras gramíneas tropicais especialmente sob pastejo.

Com o avanço das pesquisas verificou-se que com o avanço da maturidade da cana-de-açúcar, o aumento do conteúdo celular e conseqüentemente da fração solúvel, determinava a diluição da fração fibrosa associada à parede celular, comportamento que é contrario ao esperado em outras gramíneas tropicais (MINSON, 1990). Contudo, o acúmulo de carboidratos solúveis na

planta ao longo do tempo decorrer é um fenômeno mais complexo do que se pensava. Aitken et al (2006), reportaram ao redor de 37 QTL (*quantitative trait loci*) responsáveis da concentração de sacarose na cana-de-açúcar, sendo a sua expressão muito dependente da variedade (FREITAS et al., 2006), o ambiente (PEREIRA Jr. et al., 2008) e práticas agronômicas (DANTAS NETO et al., 2006). Segundo Rodrigues et al (1997), a idade do talhão afeta o valor nutritivo da cana-de-açúcar devido a mudanças em: 1) arquitetura da planta, 2) relações Folha:Colmo e 3) composição química e digestibilidade dessas frações. Por tanto, o conceito de valor nutritivo não deve ser considerado como um fator isolado, mas sim, como um conjunto de fatores que influenciam a ingestão e a utilização da forragem consumida pelos ruminantes.

De acordo com Nussio e Schmidt (2004) uma célula madura de cana-de-açúcar em termos gerais apresenta as seguintes características: 55% de parede celular e 45% de conteúdo celular com 40 e 90% de digestibilidade respectivamente. Neste cenário, concluiu-se que os açúcares solúveis presentes nos conteúdos celulares do colmo (especialmente sacarose) eram os principais responsáveis pelo fornecimento de energia de alta digestibilidade nas rações (RODRIGUES et al., 2002). Contudo, a reduzida digestibilidade da fração FDN, os baixos níveis de proteína bruta e os teores limitados de alguns minerais, têm limitado historicamente a percentagem de inclusão deste volumoso principalmente por conta da diminuição do consumo de matéria seca (LENG; PRESTON, 1976); o que também tem contribuído à grande variabilidade observada nos estudos envolvendo desempenho de animais alimentados com esse volumoso.

Gooding (1982) propôs a relação funcional entre a fibra em detergente neutro (FDN) e o teor de carboidratos solúveis (CS), descrita na literatura FDN/CS, como critério de maturidade nutritiva e seleção de variedades. Este autor postulou que quanto mais baixo fosse esse parâmetro maior seria o valor nutritivo da planta. Embora essa variável fosse utilizada em vários estudos (FREITAS et al., 2006; AZEVEDO et al., 2003; RODRIGUES; PRIMAVESI; ESTEVES, 1997), deve-se considerar a unidade em que é expressa a fração solúvel (CS), já que as estimativas podem ter amplitudes de expressão diferentes das entidades químicas presentes. Existem diferentes métodos para a extração e quantificação de CS em alimentos. Estes métodos variam dependendo do objeto de estudo e da especificidade requerida. O conceito de solubilidade associado aos CS refere-se ao solvente que é utilizado (ex. água destilada, álcool) na extração do açúcar antes da quantificação (HALL, 2003). Nas plantas forrageiras, a determinação de carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) tem sido explorada em estudos relacionados com:

1) fisiologia vegetal por meio da quantificação dos carboidratos de reserva (TAIZ; ZEIGER, 2002), 2) estudos envolvendo forragens ensiladas, que visam quantificar a disponibilidade de energia para a fermentação (Mc DONALD et al., 1991) e susceptibilidade a deterioração aeróbia em silagens (KUNG Jr et al., 2000). Por outro lado, os carboidratos solúveis em etanol (CSOH), são obtidos a partir de soluções alcoólicas diluídas em água destilada (HALL, 2000) e não têm sido explorados nos estudos nacionais envolvendo amostras de cana-de-açúcar para alimentação animal. Embora as interferências na quantificação de CS associadas a outras entidades químicas, não carboidratos, contidas na fração solúvel (ex. proteínas), possam ser reduzidas (ASP, 1993; WISEMAN et al., 1960), fornecendo assim, maior confiabilidade nas determinações analíticas.

Tradicionalmente a fração CS em forragens, tem sido quantificada utilizando métodos colorimétricos por meio de soluções padrão do açúcar de interesse (ex. glicose, sacarose). As principais vantagens destas análises em relação a métodos enzimáticos ou cromatográficos, que são mais precisos e específicos em relação a um carboidrato em particular, são o baixo custo da análise e a rapidez do processamento das amostras (BUYSSE; MERCKX, 1993).

O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) tem sido considerado em formulação de rações para ruminantes como critério de ajuste nutricional em relação à fração fibrosa dos alimentos (NRC, 2001). Considerando que sua determinação é feita com base na diferença aritmética com outras entidades bromatológicas, é uma medida que implica alta variabilidade por conta das diferentes solubilidades dos carboidratos no rúmen contidos nessa fração (HALL, 2007).

A indústria sucroalcooleira tem utilizado o teor percentual de sólidos solúveis, em peso de caldo (BRIX) e a percentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares (POL) para as determinações do teor de sacarose na cana-de-açúcar. Tendo em vista que são medidas amplamente utilizadas nessa indústria, cada vez mais tem sido utilizadas em estudos visando valor nutritivo da cana-de-açúcar *in natura*. No entanto, Hall (2007) salienta especial precaução na escolha de métodos desenvolvidos em outros campos fora da nutrição de ruminantes para fazer estimativas de valor nutritivo, devido a que nem sempre pode ser a maneira correta para extrapolar um resultado como válido.

Objetiva-se com este trabalho a comparação de métodos de determinação do teor de CS em cana-de-açúcar (BRIX, POL, CNF, CSA, CSOH) visando definir as melhores estimativas de valor nutritivo por meio de: 1) quantificar as taxas de acúmulo da fração CS e comparar as suas relações com outras variáveis bromatológicas durante a fase de máximo crescimento da variedade

IAC 86-2480, submetida a dois métodos de colheita: manual e mecânica (capítulo 2); 2) explorar as possíveis relações entre os teores CS e outras variáveis tanto bromatológicas como morfológicas da planta (capítulo 3), durante a fase de maturação fisiológica na variedade IAC 93-3046, submetida a dois tipos de adubação no plantio: orgânica ou química.

1.1 Carboidratos na cana-de-açúcar

Aproximadamente 90% da matéria seca da cana-de-açúcar esta composta de carboidratos (BARNES, 1974). Esta gramínea tropical é caracterizada pelas altas concentrações de carboidratos solúveis, especialmente sacarose em relação aos carboidratos fibrosos associados à parede celular (Figura 1). Contudo, esse teor não é constante devido a que a glicose e a frutose também podem se encontrar isoladamente em concentrações bem mais reduzidas. Segundo Halford et al (2011), o teor de sacarose presente nos internós maduros pode constituir aproximadamente 20% do peso seco do colmo, porém os cultivares diferem em sua capacidade de acumular este dissacarídeo.

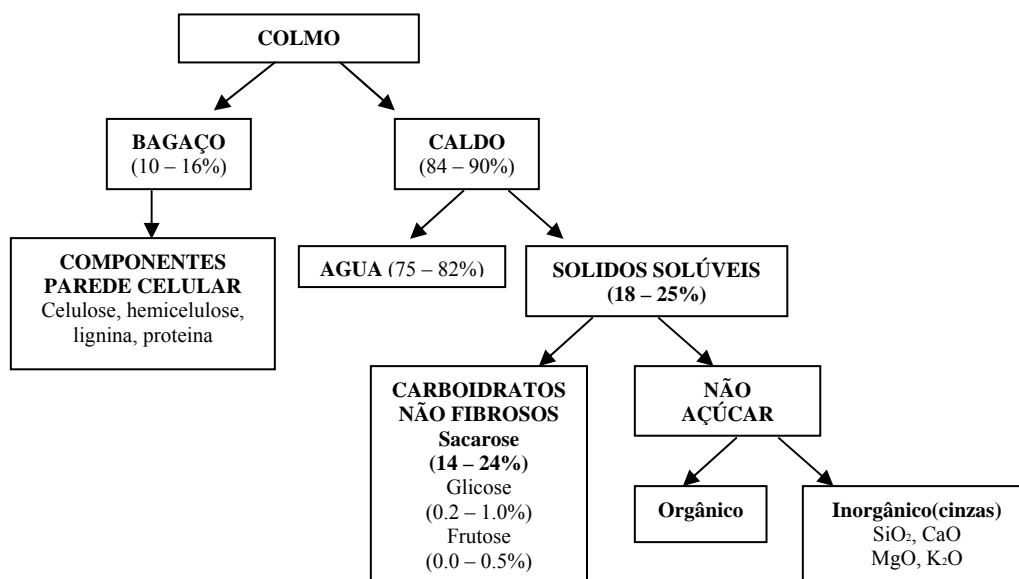


Figura 1 - Composição química de um colmo de cana-de-açúcar *in natura*. Fonte: Adaptado de Bernardes e Câmara, 2001

A sacarose é um dissacarídeo não redutor constituído por dois monossacarídeos, D-glicose e D-frutose, que estão ligados entre si por meio de carbonos anoméricos mediante ligação glicosídica a qual é susceptível a hidrólise com agentes redutores (Figura 2). Esta molécula é

conhecida genericamente com o nome de açúcar e está distribuída em todo o reino vegetal, sendo o principal carboidrato de reserva para as plantas e material indispensável para a dieta humana (FERREIRA; DA ROCHA, 2009).

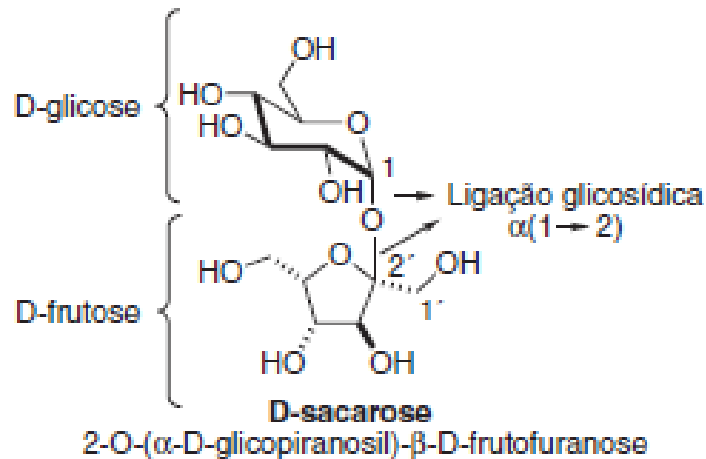


Figura 2 - Molécula de sacarose (FERREIRA; DA ROCHA, 2009)

1.2 Dinâmicas de acúmulo de sacarose

Em gramíneas tropicais e subtropicais (C4) a sacarose e o amido constituem os principais carboidratos de reserva (TAIZ; ZIEGER, 2002), porém esse pool sofre constantes mudanças (diárias ou estacionais) ligadas às demandas energéticas da planta por conta de diversos processos como fotossíntese e fase de crescimento (SMITH, 1972). Por tanto, o acúmulo dos CS nos tecidos das plantas ocorre quando, a taxa de formação de glicose durante o processo fotossintético excede a quantidade necessária ao crescimento e respiração (VAN SOEST, 1994).

De acordo com McCormick; Watt; Cramer (2009), na cana-de-açúcar a alocação de carboidratos solúveis é uma resposta combinada de: taxas fotossintéticas das folhas e deslocamento dos *pools* de carbono, carregamento do floema na folha e alocação no colmo, metabolismo do colmo incluindo o transporte de membrana dentro dos vacúolos e o pool de sacarose e restrições ao desenvolvimento associadas à duração e tempo de maturação, sendo as enzimas invertases fundamentais no processo (SALGADO et al., 2003).

Muchow; Robertson; Wood (1996) determinou que 95% do acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar acontece no colmo e conforme avança a idade do talhão, esse teor de açúcar inicialmente acumulado na base vai se afastando da base em direção ao topo. Na indústria açucareira este processo é plenamente estabelecido e comumente usado como critério de colheita

do canavial. Assim, quando o caldo extraído do topo atinge um 85% da concentração de sólidos solúveis (% BRIX) de aquele obtido da base, considera-se que a planta atingiu a maturidade fisiológica e é apta para a extração de sacarose; valores acima de 100%, a cana encontra-se em declínio da maturação (CONSECANA, 2006).

Clements (1980) descreveu a maturação da cana-de-açúcar como uma fase fisiológica senescente entre o rápido crescimento e a morte final da planta. As curvas de acúmulo de sacarose apresentadas na literatura sugerem: a concentração de açúcares solúveis esta em função do acúmulo de matéria seca da planta e o teor de sacarose atinge o ponto máximo, após o que, essa concentração decresce como consequência da posterior hidrólise deste dissacarídeo em glicose e frutose o que torna desvantajoso seu aproveitamento industrial. Do ponto de vista matemático, tem se considerado curvas do tipo quadrático durante a fase de maturação da cana-de-açúcar (GILBERT et al., 2004; SAES et al., 1990).

Na Figura 3, são apresentados os dados observados dos teores de POL (teor percentual de sacarose aparente no caldo) das variedades de cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo de Campinas lançadas na década de 2000 (IAC, 2007), ao longo da safra de colheita desta cultura no estado de São Paulo (abril-outubro) e a simulação feita pelo autor do presente trabalho das curvas de maturação por meio de equações de predição quadrática. Ainda na Figura 3, destacam-se as duas variedades estudadas nesta dissertação: IAC 86-2480 (LANDELL et al., 2002) como IAC 93-3046.

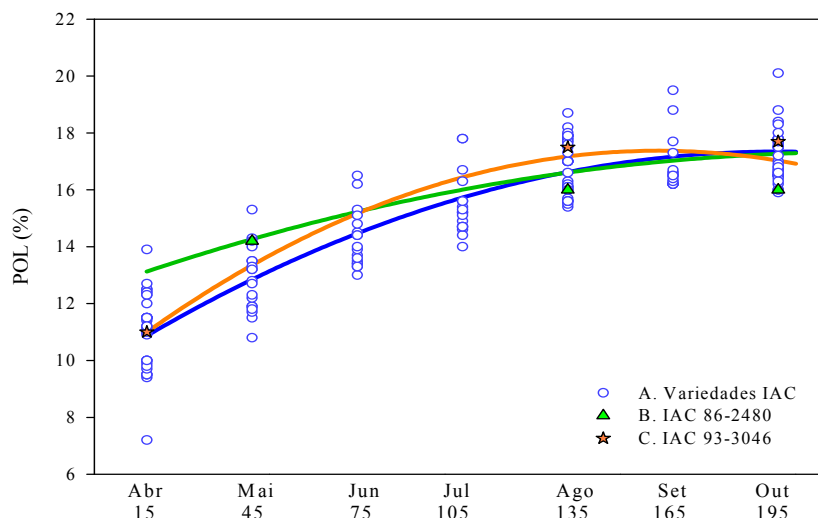


Figura 3 - Valores observados e equações preditas das curvas de maturação de variedades de cana-de-açúcar (cana-planta) do IAC durante a safra de colheita no estado de São Paulo, de A: 16 variedades (n=180), equação: $Y = 9,7432 + 0,0780X - 0,0002X^2$, $R^2 = 0,89$; B: IAC 86-2480 (n=3), equação: $Y = 12,4900 + 0,0440X - 0,0001X^2$, $R^2 = 1,00$ e C: IAC 93-3046 (n=3), equação: $Y = 9,6156 + 0,0965X - 0,0003X^2$, $R^2 = 1,00$, lançadas pelo IAC ao longo da década de 2000. Assume-se o início da safra o dia 1 de abril. Fonte: Resultados da revisão de literatura

De acordo com a primeira derivada do modelo quadrático, tem-se que o máximo acúmulo teórico da POL no estado de São Paulo a partir do dia 1 de abril, ocorre aos 195 dias na estimativa das 16 variedades (outubro), 220 dias (novembro) na IAC 86-2480 e 161 dias (setembro) no cultivar IAC 93-3046. A variedade IAC 86-2480 segundo esta classificação foi a menos precoce em termos de acúmulo de sacarose na cana-planta.

Regressões logísticas não lineares para a descrição do acúmulo de CS também tem sido exploradas em cana-de-açúcar, principalmente em estudos de crescimento da planta antes de atingir a fase de maturação (LINGLE et al., 2009; MUCHOW; ROBERTSON; WOOD, 1996). Nestes procedimentos, tem-se a vantagem de condensar a informação dos dados de idade e acúmulo de açúcares ao longo do tempo num conjunto de parâmetros que podem ser interpretados biologicamente (associados com a fenologia da cultura), sendo uma ferramenta de grande utilidade para a escolha e seleção de variedades. Fernandes et al (2003), avaliando cultivares com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três épocas de corte (426, 487 e 549 dias após plantio) demonstraram que as variedades intermediárias apresentaram maior acúmulo de nutrientes digestíveis totais (NDT) quando comparadas com as variedades precoces que acumularam maior teor de fibra (efeito quadrático). Naquele estudo, os valores de NDT e o BRIX aumentaram linearmente com o avanço da maturidade, mas surpreendentemente não houve diferenças associadas com as variedades no acúmulo de MS.

Além da variedade (SAES et. al, 1990), a concentração de carboidratos solúveis nos tecidos das plantas forrageiras tropicais é regulada por: estágio fisiológico (SMITH, 1972; SOARES FILHO, 1991), nutrição (MINSON, 1990; PÉREZ; MELGAR, 2000), condições ambientais (WILSON; FORD, 1991), práticas agrônômicas (REIS et al., 1985; NETO et. al., 2006) ou de estratégia de corte/pastejo (SBRISSIA, 2004).

1.3 Métodos utilizados para descrever o teor de carboidratos solúveis alimentos para animais

De acordo com Hall et al (2007), a escolha dos diferentes métodos para o análise das frações de CS deveria ser definida uma vez respondidas as seguintes perguntas: 1) qual a natureza da molécula ou fração química a quantificar? , 2) o ensaio fornece uma medida acurada? , 3) qual o propósito do ensaio? (ex. fermentação da silagem), 4) são aceitáveis as medidas de variabilidade e acurácia obtidas com base no método escolhido? , 5) o ensaio é robusto?.

Embora não correspondam estritamente às mesmas frações químicas, em diversas publicações científicas as unidades para designar a fração de CS das forragens são ainda consideradas como sinônimos sem clara distinção, havendo confundimento ainda entre carboidratos solúveis em água (CSA) e carboidratos não estruturais (CNE) (HALL, 2000).

Nas plantas forrageiras, a soma dos açúcares simples e a frutose representam a fração CSA, por outro lado o amido é considerado como um polímero insolúvel sendo o principal carboidrato de reserva das leguminosas temperadas. Estas duas frações (CSA e amido) são classificadas como carboidratos não estruturais (CNE) e encontram-se associadas ao conteúdo celular. Segundo Hall (2003), os CNE são aqueles carboidratos que podem ser digeridos pelas enzimas dos mamíferos e incluem ácidos orgânicos, açúcares e amido. Por outro lado, a fração os carboidratos não fibrosos (CNF) é uma fração muito heterogênea e inclui qualquer carboidrato solúvel em detergente neutro, entre estes: 1) carboidratos associados ao conteúdo celular: açúcares, amido, 2) fibra solúvel em detergente neutro (FSDN): substâncias pécticas, fructosanas e beta glucanas além de ácidos orgânicos e compostos associados.

Devido ao fato de que as concentrações de carboidratos CNF e carboidratos CNE não serem semelhantes essas unidades não deveriam ser comparáveis devido às implicações em termos de digestibilidade da forragem. A determinação de CNF é obtida por diferença a partir de outras análises bromatológicas convencionais (NRC, 2001) levando ao acúmulo de erros laboratoriais relacionados às estimativas dos outros nutrientes (PB, FDN, EE, MM.). Na cana-de-açúcar pode-se considerar que os açúcares da fração solúvel (sacarose, glicose e frutose) são considerados tanto CNF como CNE por não serem incluídos na fração FDN e por serem encontrados nos conteúdos celulares. A determinação do teor de CNF tem sido considerada na avaliação de volumosos e rações completas em estudos envolvendo cana-de-açúcar (CAVALI et al., 2010; RANGEL et al., 2010; MORAES et al., 2008).

Dependendo da natureza das amostras, o perfil de carboidratos pode diferir consideravelmente o que sugere métodos específicos de preparo e extração da fração solúvel, já que se não desativados rapidamente os sistemas enzimáticos e os microrganismos presentes na forragem podem rapidamente modificar a concentração de carboidratos solúveis das amostras e, conseqüentemente, alterar os valores de CS em amostras de alimentos destinados para animais (HALL, 2007). Água destilada, tampões e soluções alcoólicas têm sido utilizados para a extração de carboidratos solúveis em amostras de forragens. Segundo o Sistema de Carboidratos Solúveis

em Detergente Neutro (SCSDN) proposto na Universidade da Flórida (HALL et al, 2003), os procedimentos comuns na preparação de amostras para a extração de carboidratos de baixo peso molecular em extrato alcoólico são: 1) secagem (determinação de matéria seca), 2) moagem, 3) extração com etanol 80%. Assim, os açúcares são medidos diretamente no extrato alcoólico e o amido no resíduo insolúvel e tanto os ácidos orgânicos e a fração de polissacarídeos não amido são quantificados por diferença gravimétrica. Nesse sentido, a determinação de carboidratos solúveis em extrato alcoólico (CSOH) determinado no SCSDN, implica que as amostras frescas precisam estar secas. Porém, durante a secagem somente é desejável que aconteça a desidratação com o intuito de minimizar os outros processos que naturalmente contribuem à perda de qualidade da amostra (DEINUM; MAASSEN, 1994).

Segundo Wiseman et al (1960), a solubilidade da proteína e outras interferências presentes na fração solúvel das plantas podem superestimar o teor de CS, as quais poderiam ser reduzidas por meio do uso de soluções alcoólicas durante a extração nesse processo. Os mono e dissacarídeos são separados por sua solubilidade em álcool 80% (ASP, 1993). Este procedimento poderia ser vantajoso na estimativa de CS na cana-de-açúcar que em sua grande parte corresponde à sacarose especialmente ao atingir a maturidade.

Por outro lado, nos estudos envolvendo silagens, a determinação de carboidratos solúveis em água (CSA) é considerada como uma estimativa da disponibilidade de energia para as bactérias responsáveis pelo processo fermentativo durante a ensilagem. Nestes estudos comumente é utilizada a forragem *in natura* ou previamente congelada, além da água destilada como solvente (KUNG Jr., 1996, Mc DONALD; HENDERSON, 1964), isto dispensa o processo de secagem das amostras prévio à quantificação de teor de CS. Com exceção da cana-de-açúcar, as silagens de provenientes de forragens de ciclo fotossintético C4, tais como o sorgo e milho geralmente apresentam baixos teores de CSA quando comparadas com as forragens de clima temperado (ADESOGAN, 2009). De acordo com McCullough (1977) existe relação inversa entre o teor de açúcares solúveis e o conteúdo de matéria seca da forragem, assim, plantas colhidas com teores de CSA acima de 80 g kg^{-1} e umidade próxima de 700 g kg^{-1} são ideais para garantir uma adequada fermentação durante a ensilagem. A relação descrita por McCullough (1977), pode ser relevante no processo fermentativo em silagens de cana-de-açúcar devido ao alto teor de açúcares da forragem fresca em relação a matéria seca original favorecendo a presença de

leveduras que contribuem as perdas de matéria seca (MS) e nutrientes durante a abertura do silo (SCHMIDT, 2009).

No trabalho clássico de Alli; Baker; Garcia (1982), é relatado o efeito da pré-secagem no teor de CSA na cana-de-açúcar. O emurchecimento da cana *in natura* durante 48 horas no campo ocasionou redução de 37% (52 a 33%) no teor de carboidratos solúveis no momento da confecção da ensilagem, porém, após 10 dias de fermentação o perfil fermentativo e qualidade nutritiva das silagens foram similares ao controle sem emurchecimento. Num estudo conduzido no Brasil, Silva et al., (2008) trabalhando em silos experimentais verificaram que o teor de CSA no momento da ensilagem de cana-de-açúcar que tornaria nula a produção de etanol após abertura é de 12,4% (em base seca), porém o conseqüente incremento da fração fibrosa do material reduz significativamente a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) além das perdas da MS.

Diferentes métodos laboratoriais têm sido propostos para quantificar o conteúdo de CSA e CSOH em forragens e cereais. A quantificação por colorimetria tem sido reconhecida como válida em estudos de qualidade das forragens e dos grãos durante muitos anos sem ser modificada consideravelmente desde a década de 50's. Contudo, varias reações que produzem cor são seletivas para determinados tipos de carboidratos podendo as técnicas apresentarem variabilidade na acurácia em relação à especificidade na medição do açúcar padrão utilizado nas leituras, especialmente na análise de soluções mistas de açúcares (FOURNIER, 2001). A quantidade de açúcar presente na alíquota é determinada mediante comparação das leituras de absorbância das amostras de interesse em relação à uma curva de calibração estabelecida no espectrofotômetro e construída a partir de concentrações conhecidas do açúcar padrão.

De acordo com Hall (2000), alguns fatores podem influenciar na quantificação dos açúcares e contribuir nas variações destas medidas, como por exemplo: 1) o fator de diluição da amostra, 2) o número de repetições, 3) as concentrações consideradas na construção da curva padrão, 4) a forma de aplicação dos reagentes, 5) as absorbâncias dos diferentes açúcares. Segundo o levantamento realizado no presente estudo (Tabela 1), as pesquisas que avaliam o teor de CS em amostras frescas e ensiladas de cana-de-açúcar consideraram duas técnicas: fenol sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) e o método da antrona (FAIRBAIRN et al., 1953), os diferentes estudos na determinação do teor de CS, somente consideraram a extração aquosa na obtenção da fração solúvel.

Tabela 1 - Teores de carboidratos solúveis em amostras de cana-de-açúcar “in natura” relatados na literatura científica

Variedade	Idade cana (meses)	MS (%)	CS (% MS)	Amostra	Solvente	Determinação	Fonte
IAC86-2480	18	26,6	36,9	seca	água	Antrona	Cavali et al. (2010)
RB85-5453	12	37,3	14,1	fresca	água	Fenol - Sulfúrico	Amaral et al. (2009)
-	-	28,7	19,7	seca	-	-	Castro Neto et al. (2008)
RB72454	-	28,1	50,1	fresca	água	Fenol Sulfúrico	Mendes et al. (2008)
RB855536	12	30,5	23,3	fresca	água	Fenol Sulfúrico	Pedroso et al. (2008)
RB78-5841	15	35,4	20,4	fresca	água	Fenol Sulfúrico	Santos et al. (2008)
RB72-454	-	36,2	41,1	-	-	Fenol - Sulfúrico	Silva et al. (2008)
-	12	31,1	21,7	fresca	água	Fenol – Sulfúrico	Sousa et al. (2008)
RB72-454	12	27,3	17,8	-	-	Fenol - Sulfúrico	Bernardes et al. (2007)
SP80-33	-	-	11,7	fresca	água	Fenol-Sulfúrico	Schmidt et al. (2007)
13 variedades	11	26,0	41,0	seca	água	Antrona	Freitas et al. (2006a)
RB85-5536	13	27,8	54,3	seca	água	Antrona	Freitas et al. (2006a)
RB85-5536	16	28,6	59,9	seca	água	Antrona	Freitas et al. (2006b)
RB85-5536	12	31,9	26,4	fresca	água	Fenol – Sulfúrico	Pedroso et al. (2006)
RB78-5841	12	34,5	23,0	fresca	água	Fenol – Sulfúrico	Pedroso et al. (2005)
RB83-5486	11	28,14	31,4	-	-	-	Alcântara et al. (1989)
-	-	26,7	47,1	-	-	Antrona	Alli; Baker; Garcia (1983)
B41227	-	28,2	52,3	-	-	Antrona	Alli; Baker; Garcia (1982)

As determinações do teor de sólidos solúveis no caldo (BRIX) (CARDOSO et al., 2002; RODRIGUES; PRIMAVESI, ESTEVES et al., 1997) e do teor de sacarose aparente no caldo (POL) (CASOTI et al., 2008; MELLO et al., 2006; AZEVEDO et al., 2003;) empregadas rotineiramente na indústria sucroalcooleira, tem sido consideradas como indicadores de valor nutritivo das variedades, provavelmente devido à tradição dessas avaliações e a praticidade dessas medidas ao dispensar protocolos de extração da fração solúvel da forragem antes de sua quantificação. Os graus BRIX quantificam a percentagem de sólidos solúveis no caldo, sendo as leituras corrigidas a 20°C (CONSECANA, 2006). Nesse sentido, uma leitura de 18 graus BRIX indica 18 gramas de conteúdo solúvel em 82 gramas de água. Esta medida é afetada pelo índice de refração de cada uma das moléculas presentes na solução além dos açúcares (sacarose, glicose, frutose): aminoácidos, gorduras, ceras, matérias corantes ácidos orgânicos e sólidos inorgânicos (SiO₂, K₂O, CaO, MgO, Cl, P₂O₅, SO₃, Na₂O).

Por outro lado, o teor de POL quantifica a percentagem de oligossacarídeos ou de sacarose aparente no caldo e considera o teor de BRIX na sua determinação (CONSECANA, 2006). O princípio de quantificação baseia-se na propriedade que algumas substâncias químicas possuem em desviar o plano da luz polarizada em uma direção do plano da luz (CONSECANA, 2006). Embora amplamente utilizada, esta determinação pode apresentar limitações analíticas associadas à presença de outras substâncias no caldo que também possuam atividade óptica.

Considerando os procedimentos anteriormente descritos, na cana de açúcar, ainda não há consenso em relação a qual estimativa da fração CS seria a mais confiável nos estudos visando valor nutritivo dessa fonte de forragem para fins de alimentação animal. Além disso, é importante destacar que as diferentes estimativas de CS (ex. BRIX, POL) fornecem valor aproximado da concentração do carboidrato de interesse; no caso dos métodos colorimétricos são justificáveis nos estudos de açúcares equivalentes de glicose (BUYSSSE; MERCKX, 1993). Quando necessário quantificar o teor exato de açúcares (ex. sacarose) o indicado é trabalhar com métodos enzimáticos ou cromatográficos que são mais específicos, embora o custo mais elevado e maior complexidade da análise não sendo da rotina convencional dos laboratórios de bromatologia.

Em relação aos métodos enzimáticos, a sacarose é determinada em uma amostra após a inversão enzimática a pH de 4,6, mediante hidrólise causada pela enzima β -fructosidase (invertase) até glicose e frutose. A determinação de glicose após inversão (glicose total) é realizada considerando o princípio mencionado e o conteúdo de sacarose é calculado pela

diferença das concentrações de glicose antes e após hidrólise. Porém, as principais limitações dessas técnicas além do custo estão associadas à pureza das enzimas (CAMPBELL; HANS; WILSON, 1999).

1.4 Valor nutritivo dos carboidratos da cana-de-açúcar

No Brasil devido à importância cada vez maior da cultura da cana-de-açúcar na alimentação animal, durante a última década tem se publicado vários trabalhos caracterizando o valor forrageiro da cana-de-açúcar *in natura*: 1) comparações da composição químico-bromatológica de variedades (FREITAS et al., 2006), 2) composição química das frações morfológicas da planta ao longo do tempo (THIAGO, 2009), avaliações de digestibilidade (taxas de degradação) (FERNANDES et al., 2001; PEREIRA et al., 2000; 3) estudos de desempenho produtivo dos animais submetidos ao consumo deste volumoso (MAGALHÃES et al., 2004).

As características nutricionais dos carboidratos são determinadas pelas unidades de monossacarídeos, o tipo de ligações entre estes estabelecidas e outros fatores de natureza físico-química (NRC, 2001). O conteúdo de carboidratos solúveis na cana-de-açúcar acumulados no colmo, considera-se como a principal fração a considerar nesta gramínea para avaliar seu valor nutritivo. Os carboidratos não estruturais (CNE) são rapidamente fermentados no rúmen devido a suas características químicas que lhe conferem alta solubilidade. A fermentação dos açúcares é similar ao amido no sentido que os dois processos fermentam os mono e dissacarídeos até ácido lático, além de concentrações similares de proteína microbiana, acetato e propionato quando comparado com o amido; porém produz mais butirato e lactato a pH fisiológico (6,7), o que contribui para a queda mais acentuada do pH ruminal (KOZLOSKI, 2009). De acordo com Varga et al., (2001), em relação à suplementação de sacarose nas rações, informações precisas ainda não estão disponíveis sobre quais os níveis adequados de suplementação ou como podem ser usados eficientemente no metabolismo ruminal, embora, em vacas de alta produção, a exigência de energia líquida de lactação defina a quantidade máxima de FDN numa ração, sendo também a quantidade mínima de CNF necessária para uma adequada fermentação ruminal sem queda no consumo de MS associado ao teor de fibra (NRC, 2001)

Entre as restrições nutricionais da cana-de-açúcar, tem-se: a baixa concentração protéica e alta proporção de fibrosa de baixa degradabilidade (PRESTON, 1986). A porção da fibra ingerida que em grande parte é resistente à fermentação pelos microrganismos ruminais, acumula-se no

rúmen em relação à fração potencialmente fermentável (ALLEN; MERTENS, 1988) e tem efeito direto na redução do consumo de alimento e no desempenho dos animais (PRESTON, 1986; PRESTON; LENG, 1980).

Para fins forrageiros, o melhor momento de colheita desta cultura está definido pela relação FDN/CS. Como consequência da maturidade da planta, espera-se que essa relação diminua, sendo um dos objetivos das pesquisas de divergência nutricional dos cultivares forrageiros durante os últimos anos (BONOMO et al., 2009). Do ponto de vista fisiológico, com o avanço da maturidade, ocorre efeito de “diluição” dos carboidratos fibrosos da parede celular devido a acréscimo proporcional do teor de açúcares solúveis nos conteúdos celulares em relação ao FDN, por esse motivo esta cultura mantém seu valor nutritivo quando comparado com outras gramíneas tropicais (NUSSIO et al., 2006; GOODING et al., 1982).

Os primeiros estudos nacionais avaliando a relação FDN/CS, enfatizavam o BRUX como estimativa de açúcares solúveis da cana-de-açúcar (RODRIGUES; PRIMAVESI; ESTEVES, 1997; RODRIGUES; BARBOSA, 1999). Com o avanço das pesquisas na área, essa relação foi paulatinamente substituída pela relação FDN/POL (RODRIGUES et al., 2001; CARDOSO et al., 2005), considerando a maior proximidade química da POL com o teor real de sacarose armazenado no colmo. Todavia segundo Rodrigues et al (2001), quando o valor da relação FDN/CS (CS: POL) na cana-de-açúcar é de 3, pode-se considerar um indicador de que o teor de FDN não seria limitante ao consumo de MS deste volumoso e, conseqüentemente, de açúcares.

Como apresentado na Tabela 2, nota-se ainda a ampla amplitude de variação das relações FDN/CS reportada em alguns estudos conduzidos no Brasil (FDN/BRUX e FDN/POL), assim como as relações calculadas para FDN/CNF e FDN/CSA, a partir dos dados respectivos das duas entidades bromatológicas. Na literatura consultada não se encontraram dados do teor de CSOH em cana, e, por tanto não foi possível estabelecer a relação FDN/CSOH.

A variabilidade entre cada uma das relações FDN/CS, pode ser verificada por meio do coeficiente de variação (CV) dos valores médios de cada variável (Tabela 2), assim de maior a menor valor tem-se: FDN/CSA (52,83%), FDN/BRUX (24,18%), FDN/CNF (17,87%), FDN/POL (10,96%).

Tabela 2 - Relações FDN/carboidratos solúveis em cana-de-açúcar

Relação	Nº variedades	Média	Mínimo	Máximo	Referência
FDN/BRIX	23	2,4	2,07	2,96	Cardoso (2005)
FDN/BRIX	3	2,36	2,05	2,62	Azevêdo et al. (2003b)
FDN/BRIX	1	3,10	-	-	Rodrigues e Barbosa (1999)
FDN/BRIX	11	2,80	2,30	3,40	Rodrigues et al. (1997)
FDN/POL	1	2,40	2,35	2,68	Casoti (2008)
FDN/POL	9	3,10	2,72	3,73	Mello et al (2006)
FDN/POL	9	2,80	2,62	3,34	Rodrigues et al. (2006)
FDN/POL	3	2,60	2,26	2,82	Azevêdo et al. (2003b)
FDN/CNF	1	1,53	-	-	Rangel et al. (2010)
FDN/CNF	1	1,48	-	-	Balieiro Neto et al. (2010)
FDN/CNF	1	1,00	-	-	Magalhães et al. (2006)
FDN/CNF	1	1,42	-	-	Vilela et al. (2003)
FDN/CSA	1	3,84	-	-	Amaral et al. (2009)
FDN/CSA	1	1,40	-	-	Silva et al. (2008)
FDN/CSA	1	2,24	-	-	Sousa et al. (2008)
FDN/CSA	13	1,34	1,19	1,72	Freitas et al (2006)

1.5 Implicações e futuro direcionamento das pesquisas

Tendo em vista as diferenças nos valores das estimativas de CS associadas às entidades químicas presentes em cada, a escolha e padronização dos procedimentos de extração e ou quantificação de CS é fundamental, visando definir uma “unidade consensual” que permita descrever adequadamente o valor alimentar deste volumoso para determinar o critério de colheita (*in natura* ou para silagem), formulação de rações e/ou na seleção de cultivares com potencial forrageiro.

Referências

ADESOGAN, A.T. Challenges of tropical silage production. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 15., 2009. Madison. **Proceedings...** Madison July 27-29, 2009. p. 139-154.

AITKEN, K.S.; JACKSON, P.A.; McINTYRE, C.L. Quantitative trait loci identified for sugar related traits in a sugarcane (*Saccharum spp.*) cultivar x *Saccharum officinarum* population. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 112, p. 1306-1317, 2006.

ALCÂNTARA, E.; AGUILERA, A.; ELLIOT, R.; SHIMADA, A. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvested fresh and ensiled with and without NaOH. 4. Ruminal kinetics. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 23, p. 323 - 331, 1989.

ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.118, n.1, p.261-270, 1988.

ALLI, I.; BAKER, B.E.; GARCIA, G. Studies on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.7, p.411-417, 1982.

AMARAL, R.C.; PIRES, A.V.; SUSIN, I.; NUSSIO, L.G.; MENDES, C.Q.; GASTALDELLO Jr, A.L. Cana-de-açúcar ensilada com ou sem aditivos químicos: fermentação e composição química. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 8, p.1413-1421, 2009.

ASP, N-G. **Nutritional importance and classification of food carbohydrates.** In: MEUSER, F. ; MANNERS, D.J. ; SEIBEL, W. (Ed.). **Plant Polymeric Carbohydrates.** Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1993. p. 121–126.

AZEVÊDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; CARNEIRO, P.C.S.; QUEIROZ, A.C.; BARBOSA, M.H.P.; FERNANDES, A.M.; RENNÓ, F.P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1431-1442, 2003a.

AZEVÊDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C.; CARNEIRO, P.C.S.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; FERNANDES, A.M.; RENNÓ, F.P. Composição químico-bromatológica, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação *in vitro* da fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.6, p.1443-1453, 2003b.

BALIEIRO NETO, G.; FERRARI Jr, E.; NOGUEIRA, J.R.; POSSENTI, R.; PAULINO, V.T.; BUENO, M.S. Perdas fermentativas, composição química, estabilidade aeróbia e digestibilidade aparente de silagem de cana-de-açúcar com aditivos químico e microbiano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 621-630, 2009.

BARNES, A.C. **The Sugarcane.** London: Leonard Hill Books, 1974. 572p.

BERNARDES, M.S.; CÂMARA, G.M.S. **Cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba: ESALQ, 2001. 20p.

- BERNARDES, T.F.; REIS, R.A.; SIQUIERA, G.R.; BERCHIELLI, T.T.; COAN, R.M. Avaliação da queima e da adição de milho desintegrado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vicosa, v. 36, n. 2, p. 269-275, 2007.
- BOIN, C.; MATTOS, W.R.S.; D'ARCE, R.D. Cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.2, 1987. p.805-856.
- BONOMO, P.; CARDOSO, C.M.M.; PEDREIRA, M.D.S. Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 53-59, 2009.
- BUYSSE, J.; MERCKX, R. An improved colorimetric method to quantify sugar content of plant tissue. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, p. 1627-1629, 1993.
- CAMPBELL, J.A.; HANS, R.W.; WILSON, J.R. Cost-effective colorimetric microtitre plate enzymatic assays for sucrose, glucose and fructose in sugarcane tissue extracts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 79, p. 232-236, 1999.
- CARDOSO, C.M.M. **Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes**. 2005. 54p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetininga, 2005.
- CASOTI, R.O. **Adubação nitrogenada e potássica na cultura da cana-de-açúcar e seus efeitos na produção e qualidade nutricional**. 2008p. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Araçatuba, 2008.
- CASTRO NETO, A.G.; MOLINA, L.R.; GONÇALVES, L.C.; JAYME, C.G. Parâmetros de fermentação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.60, n.5, p.1150-1156, 2008.
- CAVALI, J.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C.; SANTOS, E.M.; de CARVALHO, G.G.P.; SANTOS, M.V.; PORTO, M.O.; RODRIGUES, J.F.H. Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages treated with calcium oxide. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 7, p. 1398 - 1408, 2010.
- CLEMENTS, H.F. **Sugarcane crop logging and crop control. Principles and practices**. Honolulu:, University Press of Hawaii, 1980. 520p.
- CONSECANA. **Manual de Instruções**. 5 ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar. Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2006. 111p.
- DANTAS NETO, J; FIGUEREDO, J.L.C.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.283-288, 2006.

DEINUM, B.; MAASSEN, A. Effects of drying temperature on chemical composition and in vitro digestibility of forages. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v 46, p. 75–86, 1994.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, 1956, p. 350 - 356.

FAIRBAIRN, N.J. Differentiation of carbohydrates by anthrone. **Chemistry and Industry**, London, v. 31, p. 86, 1952.

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; da FONSECA, D.M.; DETMANN, E.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, E.S.; VITTORI, A. Composição química - bromatológica de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 977-985, 2003.

FERREIRA, V.F.; ROCHA, D.R.; SILVA, F.C. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 623-638, 2009.

FOURNIER, E. Colorimetric Quantification of Carbohydrates Mono and Oligosaccharides. UNIT E1.1. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. Washington. John Wiley, 2001. 8p.

FREITAS, A.W.P.; PEREIRA, J.C.; ROCHA, F.C.; DETMANN, E.; BARBOSA, M.H.P.; RIBEIRO, M.D.; COSTA, M.G. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 229-236, 2006a.

FREITAS, A.W.P.; PEREIRA, J.C.; ROCHA, F.C.; COSTA, M.G.; LEONEL, F.P.; RIBEIRO, M.D. Avaliação da qualidade nutricional da silagem de cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35 n. 1, p. 38-47, 2006b.

GILBERT, R.A.; SHINE, J.M.; MILLER, J.D.; RICE, R.W.; RAINBOLT, C.R. **Maturity Curves And Harvest Schedule Recommendations For CP Sugarcane Varieties**. Florida: University of Florida, 2004. IFAS extension: 13 p.

GOODING, E.G.B. Effect of quality of sugar cane on its value as livestock feed. **Tropical Animal Production**, Edinburgh, v. 7, p. 72 - 91, 1982.

HALFORD N.G.; CURTIS, T.Y.; MUTTUCUMARU, N.; POSTLES, J.; MOTTRAM, D.S. Sugars in crop plants. Review. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 158, p. 1–25, 2011.

HALL, M.B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis**. Florida: University of Florida, 2000. 42p. (Bulletin, 339).

HALL, M.B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 3226-3232, Dec 2003.

HALL, M.B. Methodological challenges in carbohydrate analyses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, suplemento especial, p.359-367, 2007.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. **Novas variedades de cana-de-açúcar-2007**. Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Cana/Varietades.asp>>. Acesso em: 12 jul. 2011.

KOZLOSKI, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2002. 140 p.

KUNG Jr, L. **Preparation of silage water extracts for chemical analyses**. Standard operating procedure – 001 2.03.96. ed. University of Delaware – Ruminant Nutrition Lab. – Worriow 309. 1996.

KUNG Jr., L.; ROBINSON, J.M.; RANJIT, N.K.; CHEN, J.K.; GOLD, C.M.; PESEK, J.D. Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 83, p.1479-1486, 2000.

LANDELL, M.G.D.A.; CAMPANA, M.P.; RODRIGUES, A.D.A. **A variedade IAC86-2480 como nova opção de cana-de-açúcar para fins forrageiros: manejo de produção e uso na alimentação animal**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. 36p.

LENG, R.A.; PRESTON, T.R. Sugar cane for cattle production: present constraints, perspectives and research priorities. **Tropical Animal Production**, Edinburgh, v. 1, n. 1, p. 1-22, 1976.

LINGLE, S.E.; VIATOR, R.P.; JOHNSON, R.M.; TEW, T.L.; BOYKIN, D.L. Recurrent selection for sucrose content has altered growth and sugar accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 113, p. 306–311, 2009.

LOVADINI, L.A.; MORAES, C.L.; PARANHOS, S.B. Levantamento sobre a composição química bromatológica de 39 variedades forrageiras de cana-de-açúcar. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 24, p. 189 - 198, 1967.

MAGALHÃES, A.L.R.; CAMPOS, J.M.S.; CABRAL, L.S.; MELLO, R.; FREITAS, J.A.; TORRES, R.A.; VALADARES FILHO, S.C.; ASSIS, A.J. Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: desempenho e viabilidade econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1292 - 1302, 2004.

McCORMICK, A.J.; WATT, D.A.; CRAMER, M.D. Supply and demand: sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 357–364. 2009.

McCULLOUGH, M.E. Silage and silage fermentation. **Feedstuffs**, Minneapolis, v. 49, n. 13, p.49-52, 1977.

Mc DONALD P.; HENDERSON A.R. **Determination of water-soluble carbohydrates in grass.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 15, p. 395-398, 1964.

Mc DONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage.** 2nd . ed . Aberystwyth: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.

MELLO, S.Q.; FRANÇA, A.F.S.; LIMA, M.L.M.; RIBEIRO, D.S.; MIYAGI, E.S.; dos REIS, J.G. Parâmetros do valor nutritivo de nove variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.7, n.4, p.373-380, 2006.

MENDES, C.Q.; SUSIN, I.; NUSSIO, L.G.; PIRES, A.V.; RODRIGUES, G.H.; URANO, F.S. Efeito do *Lactobacillus buchneri* na fermentação, estabilidade aeróbia e no valor nutritivo de silagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.12, p.2191-2198, 2008.

MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition.** San Diego: Academic Press, 1990. 483 p .

MORAES, K.A.K.; VALADARES FILHO, S.C.; MORAES, E.H.B.K.; LEÃO, M.I.; VALADARES, R.F.D.; DETMANN, E.; NALON, P.M. Cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio fornecida com diferentes níveis de concentrado para novilhas de corte em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n . 7, p. 1293-1300, 2008.

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J.; WOOD, A.W. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. II Sucrose accumulation and commercial yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 27-36. 1996.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7th . ed. rev. Washington: National Academy of Science, 2001. 381p.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P. Tecnologia e produção e valor alimentício de silagens de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2., 2004. Maringá. **Anais...** Maringá:UEM/CCA/DZO, 2004. p.1 - 33.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; SCHOGOR, A.L.B.; MARI, L.J. Cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3., 2006, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.277-328.

PEREIRA Jr., L.R.; GAMA, J.S.N.; RESENDE, I.R.A.; CAMPOS, V.B.; PRAZERES, S.S. Variação climática no brejo paraibano e sua influência na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável grupo verde de agricultura alternativa (GVAA)**. Mossoró, v. 3, n. 3, p. 50 - 58, 2008.

PEREIRA, E.S.; QUEIROZ, A.C.; PAULINO, M.F.; CECON, P.R.; VALADARES FILHO, S.C.; MIRANDA, L.F.; FERNANDES, A.M.; CABRAL, L.S. Determinação das frações protéicas e de carboidratos e taxas de degradação in vitro da cana-de-açúcar, da cama de frango

e do farelo de algodão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 1887 - 1893, 2000.

PÉREZ, O.; MELGAR, M. Sugar cane response to potassium fertilization on Andisol, Entisol, and Mollisol soils of Guatemala. **Better Crops International**, Atlanta, v. 14, n. 1, p. 20-22, 2000.

PRESTON, T.R.A. Research, Extension and Training for Sustainable Farming Systems in the Tropics. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 7, n. 2, p. 1-8, 1995.

PRESTON, T.R. Whole sugarcane as animal feed: An overview. In: SANSOUCY, R.; AARTS, G.; PRESTON, T.R. (Ed.) **FAO consultation sugar cane as feed**. Rome: FAO, 1986. p.61-71.

PRESTON, T.R.; LENG, R.A. Utilization of tropical feeds by ruminants. In: **Digestive physiology and metabolism in ruminants**. Westport: AVI, 1980. p. 620-640.

RANGEL, A.H.N.; CAMPOS, J.M.S.; OLIVEIRA, A.S.; VALADARES FILHO, S.C.; ASSIS, A.J.; SOUZA, S.M. Desempenho e parâmetros nutricionais de fêmeas leiteiras em crescimento alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar com concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.11, p.2518-2526, 2010.

RODRIGUES, A.A.; BARBOSA, P.F. Efeito do teor protéico do concentrado no consumo da cana-de-açúcar com uréia e ganho de peso de novilhas em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.28, n.2, p.421-424, 1999.

RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; BATISTA, L.A.R.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; HOFFMAN, H.P. Efeito da qualidade de quatro variedades de cana-de-açúcar no ganho de peso de novilhas canchim. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. 1 CD- ROM.

RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; BATISTA, L.A.R. Qualidade de dezoito variedades de cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, A.A.; PRIMAVESI, O.; ESTEVES, S.N. Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1333 - 1338, 1997.

SAES, L.A.; SAKAI, E.; CAMARGO, A.P.; SILVA, F.C.; CESAR, A.A.M.; MOREIRA, R.S. Avaliação preliminar do potencial agrônômico de algumas variedades de cana-de-açúcar no município de Pariquera-Açu, no Vale do Ribeira. **STAB**, Piracicaba, v.26, 135p. 1990.

SALGADO, G.S.; BUCIO, A.L.; RIESTRA, D.D.; LAGUNEZ, E.L.C. **Caña de azúcar: hacia un manejo sustentable.** Villahermosa, Tabasco, México, :Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. 2003. 394 p.

SANTOS, M.C.; NUSSIO, L.G.; MOURÃO, G.B.; SCHMIDT, P.; MARI, L.J.; RIBEIRO, J.L. Influência da utilização de aditivos químicos no perfil da fermentação, no valor nutritivo e nas perdas de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 9, p. 1555-1563, 2008.

SCHMIDT, P. Improved efficiency of sugar cane ensiling for ruminant supplementation. In: ZOPOLLATTO, M., MURARO, G.B., NUSSIO, L.G.(Ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2009. São Pedro. **Proceedings...** São Pedro:Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ, 2009. Oct 28 – 30. p. 47 – 72.

SCHMIDT, P.; MARI, L.J.; NUSSIO, L.G.; PEDROSO, A.F.; PAZIANI, S.F.; WECHSLER, F.S. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1666 - 1675, 2007 (supl.).

SILVA, E.J.A.; BORGATTI, L.M.O.; MEYER, P.M.; MARINO, C.T.; RODRIGUES, P.H.M. Efeitos do teor de carboidratos solúveis sobre as características da silagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.8, p.1375-1382, 2008.

SILVA, S.C. A cana-de-açúcar como alimento volumoso suplementar. In: PEIXOTO, A.M., MOURA, J.C., FARIA, V.P.(Ed.). **Volumosos para bovinos.** 2. ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ. 1995. p. 17 – 47.

SMITH, H. Light quality, photoreception and plant strategy. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v. 33, p. 481-518, 1982.

SOARES FILHO, C.V. **Variação sazonal de parâmetros bioquímico-fisiológicos em Brachiaria decumbens estabelecida em pastagem.** 1991. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology.** 5th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 782p.

THIAGO, R.D.R.T. **Avaliação nutricional da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal.** 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2009.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

VARGA, G.A.; CASSIDI, T.W.; ISHLER, V.; LUCHINI, N.D.; BRODERICK, G.A. Effect of replacing dietary starch with sucrose on nutrient utilization by ruminal microorganisms during

continuous culture fermentation. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 84 (Suppl. 1), n. 290. (Abstr.), 2001.

WISEMAN, W.G.H., MALLACK, J.C., JACOBSON, W.C. Silage analysis, determination of sugar in silages and forages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 8, p. 78–80, 1960.

2 DINÂMICA DA FRAÇÃO DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS COM O AVANÇO DA MATURIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o padrão de acúmulo de carboidratos solúveis (CS) na cana-de-açúcar, por meio de cinco determinações desta fração: BRIX, teor de sólidos solúveis., POL, teor de sacarose aparente., CNF, carboidratos não fibrosos., CSA, carboidratos solúveis em extrato aquoso., carboidratos solúveis em extrato alcoólico (CSOH), e suas relações funcionais com outras variáveis bromatológicas convencionais para predizer o valor alimentar até atingir o ponto de maturação da cultura. Amostras de colmo e planta inteira foram colhidas mensalmente durante a fase de crescimento (abril - novembro 2007): 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 dias após colheita (DAC), num canavial de terceiro (IAC 86-2480) em resposta a dois métodos de colheita: colheita manual (MAN) e colheita mecânica (MEC). As estimativas do CS, composição bromatológica (MS, CP, FDN, FDA, DIVMS e DIVMO), assim como da relação FDN/CS foram similares ($P > 0,05$) entre os tratamentos, exceto para CSOH e a relação FDN/CSOH para colmo, e a relação FDN/POL ($P > 0,05$) para a planta inteira, mostrando vantagens para os métodos MAN e MEC respectivamente. O conteúdo de CS da planta inteira representou aproximadamente 80% do conteúdo teor observado na fração colmo. Foram identificados três padrões de acúmulo de CS: a) POL e CSOH, b) BRIX, c) CNF. Não foi possível ajustar a predição de CSA no modelo logístico. Até 240 e 270 DAC, as relações entre FDN/BRIX e FDN/POL seguiram a mesma tendência para os métodos MAN e MEC respectivamente. Relações entre FDN/CS foram altamente correlacionadas com a digestibilidade das forragem, especialmente a relação FDN/CNF ($r > 0,8$). A análise de componentes principais revelou que o componente principal relacionado ao o valor nutritivo da cana-de-açúcar, esta associado com as variáveis bromatológicas com da fração fibrosa (ex. FDN, FDA): 54,4 e 64% da variância total da fração colmo e planta inteira, respectivamente.

Palavras-chave: Acúmulo de açúcares; Análise de componentes principais; Valor alimentar; Relação FDN/CS

Abstract

The study aimed was to analyze the soluble carbohydrate (SC) accumulation trend in sugarcane crop through 5 determinations of this fraction: solid content (BRIX), apparent sucrose content (POL), non fibrous carbohydrates (NFC), water soluble carbohydrates (WSC) and ethanol soluble carbohydrates (EtOH), as their relationships to predict feed value until crop reaches maturity. Samples of sugarcane variety IAC 86-2480 (stalk and whole plant), were collected monthly in response to two harvesting methods: manual (MAN), mechanical (MEC) along of crop growing phase (April to November 2007): 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 and 360 days after harvesting (DAH). The SC estimative, chemical composition (DM, CP, NDF, ADF, IVDDM and IVOMD) and NDF/SC relationships were similar ($P > 0.05$) across treatments, except for EtOH and NDF/EtOH relationship at stalk and NDF/POL ($P < 0.05$) at whole plant being MAN and MEC of those cases, respectively more advantageous for each. The whole plant SC content reached represents closer to 80% of total content observed in the stalk fraction. Were identified three typical SC accumulation patterns: a) POL and EtOH, b) BRIX, c) NFC. Until 240 (MAN) and 270 (MEC) DAH, the standardized NDF/BRIX and NDF/POL stalk relationships

followed the same trend. NDF/SC relationships were highly correlated with forage digestibility, especially NDF/NFC ($r > 0.8$). Principal Component Analysis described at the first principal component the relation with NDF and ADF for both stalk as whole plant: 54.4; 64.0% of total variance, respectively.

Keywords: Sugar accumulation; Principal component analysis; Feed value; NDF/SC ratio

2.1 Introdução

A qualidade nutricional da forragem é talvez o fator mais importante que influencia a produtividade de um ruminante, quer seja, em pastejo ou em confinamento (REIS, 2009). Forrageiras de clima tropical apresentam qualidade inferior, devido ao maior conteúdo de fibra em detergente neutro (FDN) e os menores valores de digestibilidade da matéria seca (MS) da fração fibrosa em relação às gramíneas de clima temperado com o avanço da maturidade (MINSON, 1990). Esse cenário vem sendo progressivamente alterado com o manejo de plantas tropicais que podem alcançar valor nutritivo bem elevado adequado nos trópicos (SILVA; NASCIMENTO Jr., 2007). Assim, a elevada produção de MS das gramíneas tropicais possibilita ganhos em produto animal igual ou superior por unidade de área quando bem manejadas (CORSI et al., 1994).

A cana-de-açúcar é um volumoso suplementar interessante porque junto com a alta produtividade da cultura durante a época de safra, a MS da planta é muito digestível devido a um aumento percentual dos carboidratos solúveis (CS) presentes nos conteúdos celulares, especialmente sacarose, em relação à parede celular cuja fibra apresenta caracteristicamente menor valor nutritivo em comparação com outras gramíneas.

Uma característica importante que influencia a escolha das variedades comerciais de cana-de-açúcar é a precocidade no acúmulo de açúcar (GILBERT et al., 2004). Porém, a maioria das informações do efeito da maturidade sobre a qualidade da cana vem da indústria sucroalcooleira (GOODING, 1982). Estudos no Brasil (IAC, 2007) e outros países como: África do Sul (BOND, 1982), Austrália (ROBERTSON; WOOD; MUCHOW, 1996; MUCHOW; ROBERTSON; WOOD, 1996), Mauritius (MAMET; GALWEY, 1999), Estados Unidos (GILBERT, 2004), tem usado a informação do acúmulo de sacarose no tempo para a construção de “curvas de maturação” para variedades individuais em diferentes condições ambientais. Assim, o critério de colheita é definido pelo ponto no qual a planta expressa seu máximo acúmulo de sacarose no colmo em relação ao teor de açúcares redutores: glicose e frutose (LEITE et al., 2009).

Na prática, as maiores limitações encontradas na literatura para simular a curva de acúmulo da sacarose e/ou fração solúvel, estão associadas com o limitado número de dados e a frequência de coleta em pontos-chaves do crescimento da planta com o intuito de fornecer dados confiáveis para melhorar a predição do fenômeno. No entanto, essa premissa também vai depender da função matemática utilizada na sua descrição e ajuste. As abordagens tradicionais normalmente linearizam o fenômeno com base em regressões lineares ou quadráticas, desconhecendo muitas vezes sua significância biológica o que permitiria caracterizar melhor as variedades.

Há muito se preconiza que a melhor variedade para a indústria de açúcar é também a melhor para ser utilizada como forrageira, pois apresenta melhor teor de açúcar o que é interessante para alimentação animal. No entanto, a escolha da cana-de-açúcar para fins forrageiros envolve características bastante diversificadas como: produção de matéria seca (cana planta e soca), facilidade de colheita e a qualidade nutritiva entendida não somente como o teor de CS, mas também como a qualidade da fração fibrosa (FDN, FDA, lignina) (SILVA; RODRIGUES, 2010). O valor da relação entre os teores de FDN e de carboidratos solúveis (FDN:CS) tem sido utilizado na avaliação de qualidade nutritiva da cana-de-açúcar, sendo que “quanto menor melhor”, devido às implicações negativas da fração FDN na inibição do consumo voluntário de MS pelos animais (PRESTON, 1986). Porém, esse parâmetro pode diferir consideravelmente em relação à metodologia analítica empregada nas estimativas da fração solúvel, já que se constitui em simples relação aritmética onde a escala de grandeza deste parâmetro varia significativamente.

Em nutrição de ruminantes, a avaliação dos CS da cana-de-açúcar tem sido considerada usando os seguintes procedimentos: 1) teor de BRIX (RODRIGUES; PRIMAVESI; ESTEVES, 1997) e POL (AZEVEDO et al., 2003) que são parâmetros comuns na indústria açucareira, especialmente como critério de colheita do canavial (CALIARI; SOARES Jr; SERRA, 2004); 2) carboidratos não fibrosos (CNF) em formulação de rações (CORREA et al, 2003); 3) determinação dos carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) que tem sido considerada em estudos envolvendo o processo da ensilagem como uma estimativa da disponibilidade de energia para o processo fermentativo (PEDROSO et al., 2008); 4) taxas de degradação ruminal dos carboidratos (PEREIRA et al., 2000). Fernandes et al (2003), concluíram que as variedades que apresentam a relação FDN:CS menor do que 3, tiveram melhor potencial para fins forrageiros,

isto considerando a fração solúvel quantificada como teor de sacarose aparente no caldo (% POL).

Porém as diferentes estimativas da fração CS, não expressam com exatidão o teor de sacarose, especialmente nos estádios iniciais de maturação do talhão e as diferenças entre estas estão associadas aos outros compostos “solúveis” que entram na determinação. Em relação aos valores de BRIX e POL, pouco é conhecido sobre as dinâmicas temporais em relação às outras determinações químicas de CS (CNF, CSA) nas “curvas de maturação”. Também não se conhece a repercussão que a medida escolhida pode ter em termos da predição do valor nutritivo da forragem, considerando a digestibilidade (DIVMS, DIVMO) e a relação FDN/CS e seu efeito combinado na limitação do consumo de MS pelos animais. Banda; Valdez (1976), trabalhando com cana-de-açúcar colhida entre os 8 e 16 meses após o plantio, encontraram que a melhor variável para a predição da DIVMS do colmo por efeito da maturidade foi a FDA, no entanto o baixo valor médio do r^2 da regressão (0,42); por outro lado, Carvalho (1992), mostrou que a predição da digestibilidade melhora consideravelmente ($R^2 = 0,79$), quando consideradas três variáveis na equação (MS, FDN e a relação FDA/FDN).

Técnicas de análise multivariada têm sido utilizadas em pesquisas no Brasil visando avaliar a divergência nutricional das variedades de cana-de-açúcar, assim: 1) análise de componentes principais (ANDRADE et al., 2003; AZEVEDO et al., 2003), 2) análise de fatores (FREITAS et al., 2006), 3) análise de agrupamento (ANDRADE et al., 2003). Estas abordagens cumpriram com o propósito de selecionar as melhores variedades e podem também auxiliar na escolha de variáveis bromatológicas associadas ao acúmulo de CS ao longo do ciclo da cultura, além das equações de predição.

Foram os objetivos deste capítulo: 1) descrever matematicamente as dinâmicas de acúmulo temporal das diferentes estimativas CS, assim como a relação FDN/CS de acordo com a variável considerada; 2) selecionar e classificar as estimativas de CS a partir das relações funcionais com outras variáveis bromatológicas de importância nutricional, por meio da técnica multivariada de “Análise de Componentes Principais” (ACP) em amostras das frações colmo e planta inteira em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) submetida a dois métodos de colheita (manual e mecânica).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Local experimental

O experimento foi conduzido em área do Centro Avançado de Tecnologia da Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC – APTA), no município de Ribeirão Preto, SP. As coordenadas geográficas aproximadas da área são: latitude 21°12'S, longitude 47°52'O, altitude: 640 m. A área experimental de 3400 m² foi dividida em seis blocos, com dimensões de 9,1 m x 63 m (573,3 m²). Em cada bloco foram estabelecidas três parcelas, e cada uma foi considerada uma unidade experimental onde os tratamentos foram impostos. A representação esquemática da parcela encontra-se na Figura 4.

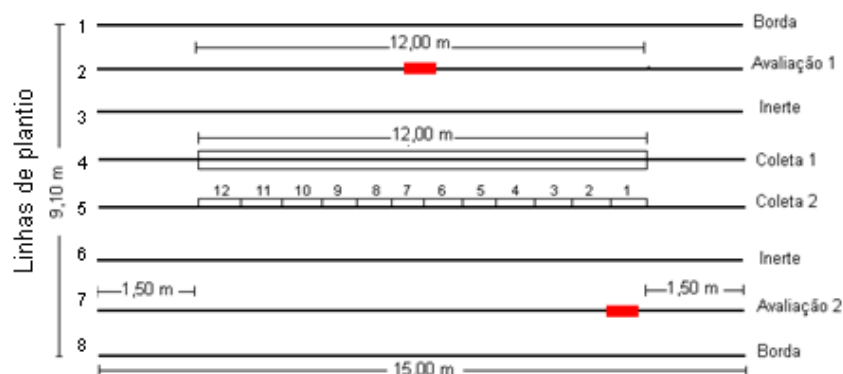


Figura 4 - Representação esquemática das parcelas experimentais

Cada parcela continha oito linhas de plantio de 15 metros de comprimento espaçadas 1,30 m uma da outra, totalizando 136,5 m², e eram separadas por um corredor de circulação de nove metros de largura, necessário para o trânsito de máquinas agrícolas. As linhas de coleta foram destinadas às colheitas mensais da planta para a estimativa de produção de biomassa (SCHOGOR, 2008) e análises bromatológicas.

2.2.2 Clima e solo

A classificação climática do município de Ribeirão Preto, segundo o método de Köppen é Aw, caracterizado por elevada pluviosidade, embora apresente inverno seco e verão úmido (ROLIM et al., 2007). Os dados meteorológicos durante o período de coleta de amostras, encontram-se na Figura 5. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho

Férrico de acordo com o sistema da EMBRAPA (1999). A análise de solos da área experimental é apresentada na Tabela 3.

Em dezembro de 2006, após um mês do corte de uniformização foi realizado o cultivo e a adubação da área experimental com o fertilizante NPK 05-20-20 na dosagem de 500 kg ha⁻¹, aplicado em filete contínuo na entrelinha. O controle de plantas invasoras foi realizado por meio de capina manual.

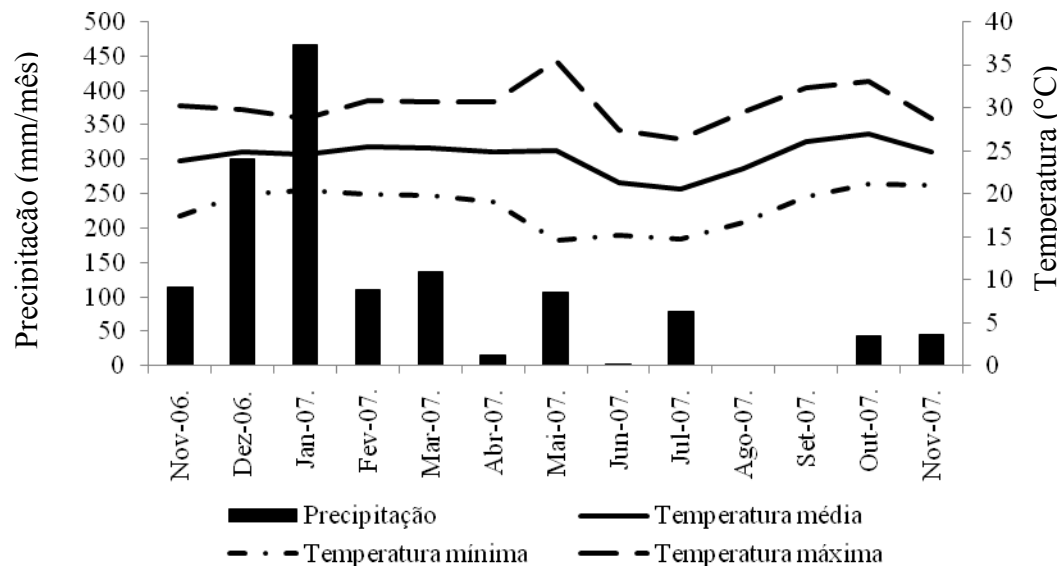


Figura 5 - Precipitação (mm) e média das temperaturas (°C) mensais do município de Ribeirão Preto, SP de novembro de 2006 a novembro de 2007. Fonte: APTA – Ribeirão Preto, SP

Tabela 3 - Análise do solo da área experimental situada no Centro de Cana APTA-IAC em Ribeirão Preto, SP

pH _{CaKCl}	pH _{H2O}	MO	V	H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P _{Res}
	%.....									mg.cm ⁻³
5,1	5,8	1,5	51,35	3,6	0,1	3,0	0,7	0,1	3,84	7,46	15,1

Al = alumínio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; K = potássio; P_{Res} = fósforo (determinado pelo método da resina); MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases

2.2.3 Variedade IAC 86-2480

A variedade de cana-de-açúcar utilizada neste trabalho foi a IAC 86-2480 em seu terceiro corte. De acordo com Landell et al. (2002), esta variedade selecionada especificamente como forrageira se caracteriza por ter alto teor de sacarose, bom rendimento agrônomico, longevidade da soqueira, porte ereto, baixa relação FDN/POL, boa digestibilidade *in vitro* da matéria seca e conversão alimentar, assim como resistência a doenças (carvão e raquitismo da soqueira), porém, possui exigência média a alta em relação à fertilidade do solo e condições climáticas. No estado de São Paulo, o período de utilização industrial desta variedade vai de maio a outubro (AFCRC, 2011).

2.2.4 Tratamentos

Os tratamentos corresponderam a dois métodos de colheita: corte manual (MAN) e corte mecanizado (MEC). A colheita manual (MAN) foi efetuada na região do colo da planta, rente ao solo com uso de facão. Os perfilhos resultantes desse procedimento foram manipulados cuidadosamente para evitar remoção e perda de estruturas da planta, sendo organizados em feixes fora das parcelas para posterior recolhimento.

No caso do corte mecanizado (MEC), foi utilizada uma colhedora de forragem (MENTA[®], modelo *Colhiflex MFC-1*) regulada para altura de corte de 20 cm. Esta foi tracionada por trator de 88 cv de potência. Com o intuito de reduzir a velocidade de deslocamento desse equipamento e evitar danos à soqueira, o trator foi equipado com sistema de redução da rotação para assegurar a captação e corte preciso dos colmos. A velocidade média de deslocamento do conjunto trator-colhedora durante a colheita da forragem foi de 2,4 km/h, utilizando a primeira marcha reduzida e rotação de 1700 RPM no motor. O conjunto de facas da colhedora foi afiado no início do corte das parcelas pertencentes a cada tratamento.

2.2.5 Amostragens no campo

Amostras provenientes de planta inteira e colmo “*in natura*” em diferentes estádios de maturidade foram colhidas durante oito meses de avaliação (abril a novembro de 2007): 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 365 dias após colheita (plantio - DAC). Mensalmente foram colhidos os perfilhos que estiveram contidos dentro da extensão de 1 m linear, em cada uma das duas linhas de coleta de cada parcela. Esta coleta foi iniciada após 1,5 m da extremidade, percorrendo

toda a extensão da linha até a outra extremidade (1,5 m), ao longo do espaço de coleta (Figura 4). A partir do ponto final de coleta da primeira amostragem iniciou-se a coleta da segunda no mês subsequente e assim sucessivamente, percorrendo a extensão disponível nas linhas de coleta de 12 metros cada.

A amostragem desses perfilhos foi realizada nas parcelas referentes ao tratamento previamente definido. Após a colheita, os perfilhos foram cuidadosamente acondicionados e enrolados num feixe por lonas plásticas com o intuito de evitar a perda dos seus componentes e imediatamente foram levados ao laboratório do Centro de Pesquisa da Cana (APTA – Ribeirão Preto) onde foram separadas duas frações para análise: colmo e planta inteira.

2.2.6 Preparo de amostras

As análises de todas as amostras consideradas no experimento foram realizadas nas dependências do Laboratório de Bromatologia pertencente ao Departamento de Zootecnia da ESALQ-USP. As amostras foram picadas em triturador forrageiro (TRAPP – TRF 70[®]) e acondicionadas para as determinações da fração solúvel: 1) extração do caldo dos internós médios de 10 feixes por amostra para a leitura dos graus BRIX e posterior determinação do POL; 2) sub amostras de aproximadamente 300 g foram dispostas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação forçada a 60°C durante 72 horas e moídas em moinhos tipo Wiley com peneira de malha 1 mm para a determinação da MS (CAMPOS et al., 2004) e obtenção do extrato alcoólico (HALL, 2000) e 3) sub amostras de cana fresca picada (100 g) foram armazenadas em saco plástico e congeladas imediatamente (-20°C) de acordo com a metodologia proposta por Kung Jr. (1996) para a extração dos carboidratos solúveis em meio aquoso.

2.2.7 Obtenção de extratos para a determinação da fração solúvel

Para a obtenção do extrato alcoólico foram pesados $0,5 \pm 0,02$ g de forragem seca em balões Erlenmeyer de 250 mL de capacidade. Foram adicionados 100 ± 2 mL de solução alcoólica (etanol 80% em água destilada) e, imediatamente, a boca dos balões foi tampada com filme plástico PVC de espessura 0,06-1,00mm. Os balões foram dispostos em banho metabólico MARCONI[®] (Ref. MA-093) e submetidos à agitação durante 4 horas a temperatura de 17–22 °C. Após esse tempo, o extrato para a determinação dos carboidratos solúveis em extrato alcoólico

(CSOH) por meio de filtração em papel de filtro Whatman[®] 54, e armazenado em tubos tipo Eppendorf[®] de 1,5 mL a -20 °C.

Após o descongelamento, amostras de 25 g de forragem foram adicionadas a 225 mL de água deionizada para obtenção do extrato aquoso e, posteriormente processados em liquidificador industrial durante um minuto, sendo o extrato filtrado em papel Whatman[®] 54 e centrifugado por 15 minutos a 10000 rpm. O líquido remanescente foi pipetado e armazenado em tubos tipo Eppendorf[®] de 1,5 mL a -20 °C.

2.2.8 Determinação dos teores de CS

No caldo extraído pela prensa, determinou-se o BRIX (teor de sólidos solúveis) utilizando refratômetro de campo de leitura automática com correção automática de temperatura, sendo o valor final expresso a 20 °C (CONSECANA, 2006). A leitura sacarimétrica do caldo (POL) foi determinada em sacarímetro digital automático, resolução de 0,01°Z (um centésimo de grau de açúcar) e calibrado a 20 °C, em comprimento de onda (λ) de 587 e 589,4 nanômetros, provido de tubo polarimétrico de fluxo contínuo e com saída para impressora e/ou registro magnético de dados, após clarificação do caldo com subacetato de chumbo. A seguinte equação proposta por Consecana (2006) foi utilizada para calcular o POL do caldo:

$$S = L_{pol} * (0,2605 - 0,0009882 \times B)$$

Em que:

S = teor de sacarose aparente (%) em peso de caldo - POL;

L_{pol} = leitura sacarimétrica do caldo clarificado com subacetato de chumbo;

B = BRIX do caldo

A fração de CNF obtida pela diferença aritmética das variáveis bromatológicas convencionais foi obtida com base na seguinte equação (NRC, 2001):

$$CNF (\%) = 100 - (\%PB + \%FDN + \%EE + \%MM)$$

Em que:

CNF: Carboidratos não fibrosos

PB: Proteína bruta

FDN: Fibra em detergente neutro

EE: Extrato etéreo

MM: Material mineral

Os teores de CS foram quantificados pelo método fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) modificado por Hall (2000), após a extração das amostras com solventes (aquoso e a alcoólico), sendo as leituras espectrofotométricas feitas a $\lambda = 490\text{nm}$ em espectrofotômetro FEMTO[®] PLS PLUS; utilizando sacarose para a construção da curva padrão. Devido ao alto teor de carboidratos solúveis da cana-de-açúcar, procedeu-se a uma segunda diluição das amostras laboratoriais de carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) e CSOH para serem obtidas leituras consistentes.

2.2.9 Análises bromatológicas

Em função do número expressivo de amostras originado pelo presente experimento, para as análises da composição bromatológica das variáveis MM, PB, DIVMO, DIVMS, FDN, FDA; utilizou-se o método de espectroscopia de reflectância de infravermelho proximal (NIRS) de acordo com Cozzolino et al. (2001). O equipamento utilizado foi o espectrômetro modelo NIRS 5000 (NIRSystems[®], Silver Spring MD, USA) acoplado a um microcomputador equipado com software WinISI versão 6.2 (Intrasoftware International, PA). As amostras moídas foram acondicionadas em células de leitura modelo “*Transporter Quarter Cup*” (cód. IH – 0379) sendo, em seguida, escaneadas para a obtenção dos espectros ($\lambda = 700 - 2100\text{nm}$) e armazenados em curvas $\log 1/R$, (sendo R é o valor de reflectância). O software estimou a composição químico-bromatológica da forragem por meio de equações de predição geradas a partir da base de dados do programa.

2.2.10 Análises estatísticas

O delineamento utilizado foi o de blocos completos aleatorizados, havendo dois tratamentos (métodos de colheita) e seis repetições. Para a análise estatística das variáveis relativas ao valor nutritivo foi utilizado o modelo matemático que inclui os efeitos fixos de bloco e de tratamento e dias após colheita de uniformização (DAC), além dos efeitos aleatórios do

bloco, bloco x tratamento e resíduo, utilizando-se o procedimento MIXED do sistema estatístico SAS v. 9.1, conforme descrito pelo modelo matemático a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + t_j + d_k + (td)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado no k -ésimo DAC , do j -ésimo bloco no i -ésimo tratamento;

μ : média geral

β_j : efeito aleatório associado ao j -ésimo bloco no i -ésimo tratamento;

t_j : efeito fixo do i -ésimo tratamento; $i = 1, 2$;

d_k : efeito fixo do k -ésimo DAC ; $k = 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360$;

$(td)_{ik}$: efeito fixo da interação do i -ésimo tratamento com o k -ésimo DAC ;

ε_{ijk} : erro aleatório associado ao k -ésimo bloco, no i -ésimo bloco, no i -ésimo tratamento e k -ésimo DAC ; assumindo $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

As comparações entre médias para os efeitos estudados foram realizadas por meio do teste t ao nível de 5% de significância. Para a análise das estimativas do acúmulo de carboidratos solúveis no colmo e na planta inteira, foi considerada a distribuição normal dos dados.

O valor das variáveis de CS, foi estimado pelo procedimento NLIN do SAS. V. 9.1, por meio do modelo logístico descrito a seguir (WINSOR, 1932).

$$Y = \frac{a}{[1 + \exp(-c - k \cdot x)]}$$

Em que:

Y : Acúmulo de CS no tempo x (% MS)

a : Valor assintótico, interpretado como o acúmulo máximo de CS;

c : Constante de integração, ajustada para situações onde Y_0 ou DAC_0 não são iguais a zero;

k : Taxa média à qual uma função logarítmica de Y , específica para cada uma das equações não lineares muda linearmente no tempo em relação ao parâmetro a ; biologicamente é interpretada como o índice de maturação;

x : Dias após colheita de uniformização (DAC)

O modelo logístico pode ser utilizado para crescimentos do tipo sigmóide, nos quais o ponto de inflexão é próximo a 50% do máximo acúmulo de variável de estudo (WINSOR, 1932). A primeira derivada do modelo expressa a taxa de crescimento instantânea no tempo t . A taxa relativa de acúmulo $((1/Y) (dY/ dDAC))$ é a taxa de acúmulo relativa ao peso atual e, a taxa instantânea de maturação $((1/a) (dY/dDAC))$ é a taxa de crescimento instantânea relativa ao máximo acúmulo.

Considerando que as diferentes estimativas da relação FDN/CS são alteradas de acordo com a escala de grandeza da fração CS, para efeitos de comparação deste indicador, as médias mensais foram transformadas assumindo distribuição normal ($\mu= 0, \sigma^2= 1$). Para verificar o acréscimo na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) no tempo, tanto na fração colmo com na fração planta inteira devido ao acúmulo de CS, utilizou-se a análise descritiva de freqüências por meio do uso do procedimento PROC FREQ do programa SAS, v. 9.1. O procedimento PROC CORR, foi utilizado para determinar as correlações entre as relações FDN/CS e a digestibilidade das frações colmo e planta inteira.

Para estabelecer as relações funcionais entre as diferentes variáveis bromatológicas, com o intuito de explicar o valor nutritivo da cana-de-açúcar, foi considerado o procedimento estatístico multivariado: “Análise de Componentes Principais” (ACP) usando o comando PRINCOMP do sistema estatístico SAS, para identificar associações de variáveis mediante a observação dos vetores de correlação no espaço bi ou tridimensional.

A ACP é um método de análise multivariado que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto de variáveis de dimensão equivalente (CRUZ; REGAZZI, 1997). Assim, cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, estimadas de maneira a explicar o máximo da variabilidade total dessas variáveis originais e que sejam independentes entre si. Entre todos os componentes, o primeiro componente é definido como o de maior importância, uma vez que retém a maior parte da variância total encontrada nos dados originais, o segundo componente é definido como o de segunda maior importância e assim sucessivamente (MANLY, 2005).

2.3 Resultados

Neste item são apresentados em tabelas os dados médios e figuras das variáveis e relações estudadas, por tanto, a contextualização dos dados, comparações e discussões estão apresentados no item 3.4 (discussão).

2.3.1 Métodos de colheita

Na Tabela 4, são apresentados em tabelas os valores médios das estimativas de CS das frações colmo e planta inteira. Os tratamentos não diferiram ao longo do período de avaliação, a exceção do teor de CSOH na fração colmo ($P < 0,05$) e a sua interação com o tempo ($P < 0,0001$).

Tabela 4 - Análise dos valores médios do teor de CS nas frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) em relação ao método de colheita e ao período do ciclo da cultura

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>BRIX</i>	Colmo	19,86	0,49	0,2911	<0,0001	0,0895
	P. Inteira	16,87	0,45	0,1512	<0,0001	0,4557
<i>POL</i>	Colmo	15,96	0,35	0,4668	<0,0001	0,3745
	P. Inteira	12,67	0,31	0,2057	<0,0001	0,1087
<i>CNF</i>	Colmo	44,59	0,69	0,1406	<0,0001	0,3501
	P. Inteira	34,49	0,82	0,4889	<0,0001	0,2826
<i>CSA</i>	Colmo	37,53	0,92	0,4446	0,0038	0,0730
	P. Inteira	30,93	0,92	0,4335	0,0002	0,7745
<i>CSOH</i>	Colmo	48,82	0,96	0,0477	<0,0001	0,0074
	P. Inteira	40,56	0,97	0,1727	<0,0001	0,4574

[†]EPM - Erro padrão da média

Na Tabela 5, encontram-se os resultados para algumas variáveis bromatológicas onde o método de colheita imposto no talhão não teve efeito sobre os diferentes teores da fração indigestível da cana-de-açúcar ($P > 0,05$). Houve interação da colheita (tratamento) e os DAC para a variável FDA quando avaliada na planta inteira ($P < 0,05$).

Tabela 5 - Análise dos valores médios das variáveis bromatológicas associadas à parede celular das frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) em relação ao método de colheita e ao período do ciclo da cultura

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>PB</i>	Colmo	3,55	0,04	0,5544	<0,0001	0,3932
	P. Inteira	3,73	0,05	0,6810	<0,0001	0,2331
<i>MM</i>	Colmo	6,54	0,22	0,6642	<0,0001	0,6631
	P. Inteira	6,63	0,16	0,7677	<0,0001	0,4510
<i>FDN</i>	Colmo	44,32	0,66	0,1373	<0,0001	0,3347
	P. Inteira	54,15	0,78	0,3871	<0,0001	0,1836
<i>FDA</i>	Colmo	32,71	0,49	0,6297	<0,0001	0,6545
	P. Inteira	37,12	0,57	0,5663	<0,0001	0,0262

[†]EPM - Erro padrão da média

As médias das variáveis que representam a relação FDN/CS são apresentadas na Tabela 5. Os tratamentos diferiram em relação aos teores de FDN/POL quando avaliados na planta inteira; além da relação FDN/CSOH no colmo ($P < 0,05$). Este último comportamento acompanhou a diferença observada ($P < 0,05$) entre os tratamentos em relação ao teor de CSOH da fração colmo (Tabela 6).

Tabela 6 - Análise dos valores médios das estimativas das relações FDN/CS nas frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) em relação ao método de colheita e ao período do ciclo da cultura

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>FDN/BRIX</i>	Colmo	2,46	0,13	0,8379	<0,0001	0,7398
	P. Inteira	3,67	0,19	0,0702	<0,0001	0,0785
<i>FDN/POL</i>	Colmo	2,97	0,13	0,2049	<0,0001	0,1918
	P. Inteira	4,78	0,24	0,0430	<0,0001	0,4254
<i>FDN/CNF</i>	Colmo	1,04	0,04	0,2811	<0,0001	0,1926
	P. Inteira	1,72	0,07	0,1947	<0,0001	0,1651
<i>FDN/CSA</i>	Colmo	1,28	0,05	0,5464	<0,0001	0,0243
	P. Inteira	1,92	0,07	0,0534	<0,0001	0,5774
<i>FDN/CSOH</i>	Colmo	0,96	0,04	0,0351	<0,0001	0,0984
	P. Inteira	1,48	0,16	0,3361	<0,0001	0,0249

[†]EPM - Erro padrão da média

Os resultados para o teor de MS e digestibilidade (DIVMS, DIVMO) das frações colmo e planta inteira são apresentados na Tabela 7. Não houve efeito significativo ($P>0,05$) associado aos métodos de colheita no campo.

Tabela 7 - Análise dos valores médios da matéria seca (MS) e digestibilidade nas frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) em relação ao método de colheita e ao período do ciclo da cultura

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
MS	Colmo	24,74	0,22	0,2184	<0,0001	0,5410
	P. Inteira	28,54	0,33	0,7811	<0,0001	0,4929
DIVMS	Colmo	63,15	0,51	0,7176	<0,0001	0,5469
	P. Inteira	59,73	0,61	0,8363	<0,0001	0,2278
DIVMO	Colmo	61,97	0,65	0,3842	<0,0001	0,4973
	P. Inteira	57,16	0,65	0,9882	<0,0001	0,2738

[†]EPM - Erro padrão da média

2.3.2 Dinâmicas de acúmulo de carboidratos solúveis

Com base na análise de dados e considerando que não houve diferenças importantes no teor de CS associadas ao método de colheita imposto no talhão; decidiu-se apresentar as predições do acúmulo da fração solúvel (BRX, POL, CNF, CSA, CSOH) desenvolvidas utilizando o modelo logístico a partir das medias geradas do conjunto total de dados discriminado pela fração morfológica da planta. As medidas de dispersão apresentadas nas figuras correspondem ao desvio padrão do valor médio observado.

O acúmulo de sólidos solúveis expresso como graus BRX da fração colmo e da planta inteira de cana-de-açúcar está apresentado na Figura 6. Em média, o acúmulo de BRX da fração planta inteira ao longo do ciclo da cultura representou 84% do teor dos valores preditos para a fração colmo, sendo que o melhor ajuste da função logística (R^2) foi para a fração planta inteira.

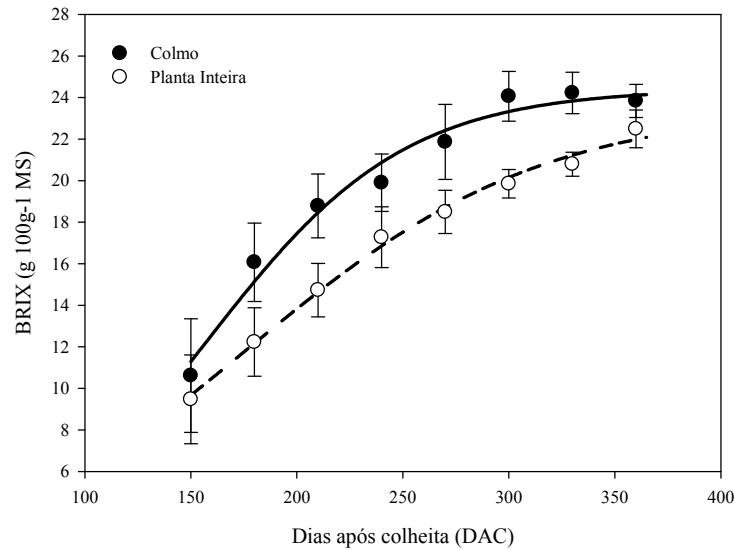


Figura 6 - Médias observadas para a variável BRIX (g 100g-1 MS) e equações de predição logística para as frações: a) colmo: $Y = 24,4237 / [1 + \exp (3,3574 - 0,0214 * DAC)]$, $R^2 = 0,87$, b) planta inteira: $Y = 23,5628 / [1 + \exp (2,5003 - 0,0143 * DAC)]$, $R^2 = 0,91$, da cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura

Na Figura 7 encontram-se os teores médios e as predições de sacarose aparente no caldo (POL) ao longo do ciclo de cultura para a variedade de cana-de-açúcar estudada. O acúmulo de POL da fração planta inteira ao longo do ciclo da cultura representou 79% do teor predito para a o colmo, sendo que a função logística ajustou melhor (R^2) quando considerada a fração colmo.

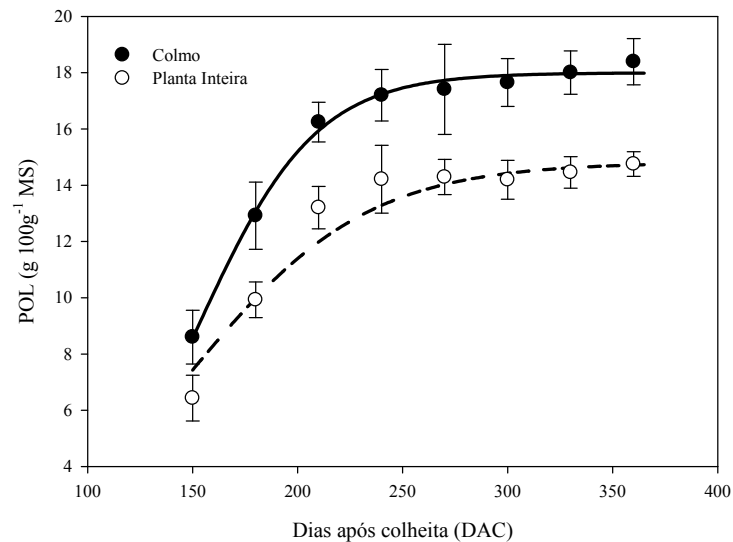


Figura 7 - Médias observadas para a variável POL (g 100g⁻¹ MS) e equações de predição logística para as frações: a) colmo: $Y = 17,9969 / [1 + \exp (5,4586 - 0,0357 * DAC)]$, $R^2 = 0,90$, b) planta inteira: $Y = 14,8152 / [1 + \exp (3,5855 - 0,0239 * DAC)]$, $R^2 = 0,68$, da cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura

Os acúmulos de CNF das frações colmo e planta inteira estão apresentados na Figura 8. A natureza da curva de acúmulo de CS seguiu padrões diferentes em relação à fração morfológica considerada. O teor de CNF na planta inteira representou 77,6% do teor predito para a fração colmo, sendo os valores mais próximos a medida que a planta atinge a maturidade fisiológica.

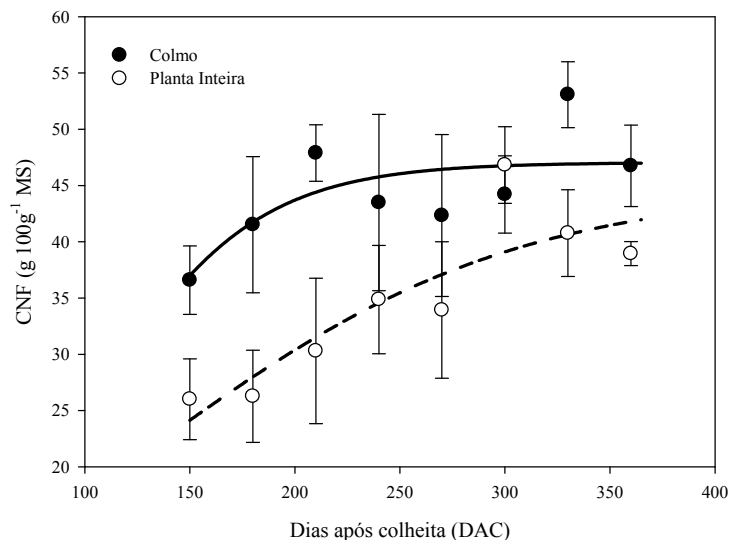


Figura 8 - Médias observadas para a variável CNF ($\text{g } 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$) e equações de predição logística para as frações: a) colmo: $Y = 47,0417 / [1 + \exp(2,4962 - 0,0253 * \text{DAC})]$, $R^2 = 0,24$., b) planta inteira: $Y = 44,8254 / [1 + \exp(1,6122 - 0,0118 * \text{DAC})]$, $R^2 = 0,55$, da cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura

A Figura 9 representa a relação entre os valores observados e preditos pela função logística para o teor de CSA. Não foi possível realizar as predições do teor de CSA nas frações anatômicas estudadas considerando o modelo logístico, devido a não convergência do modelo em decorrência do alto número de interações, além do baixo coeficiente R^2 e alto RQMR (Raiz do quadrado médio do resíduo). Por tanto, a sua interpretação é meramente descritiva (tendência). As médias dos valores observados para as frações colmo e planta inteira apresentou grande variação. O teor de CSA da planta inteira representou 82,9% do teor de açúcares presente no colmo.

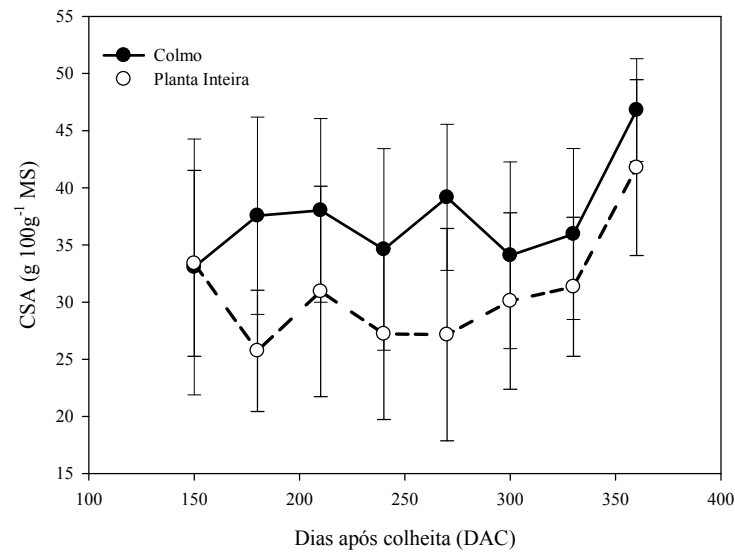


Figura 9 - Médias observadas para a variável CSA ($\text{g } 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$) nas frações colmo e planta inteira em cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura. As equações de predição logística para as frações colmo e planta inteira não ajustaram em relação aos valores de acúmulo observados

Na Figura 10 estão apresentados os valores de CSOH nas frações colmo e planta inteira ao longo do período de avaliação. As curvas geradas pelo modelo matemático para o acúmulo de CS foram paralelas entre as frações morfológicas. O teor predito de CSOH presente na planta inteira corresponde em média a 82,5% dos valores de CS acumulados no colmo.

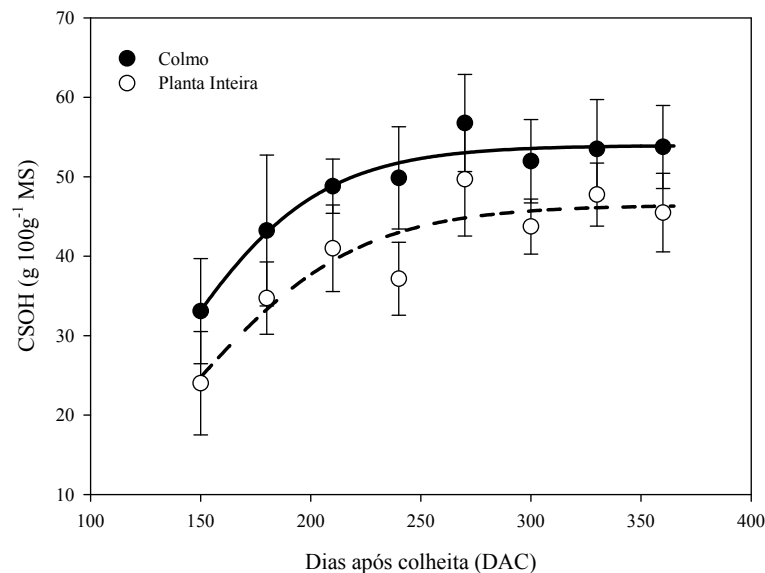


Figura 10 - Médias observadas para a variável CSOH ($\text{g } 100\text{g}^{-1} \text{ MS}$) e equações de predição logística para as frações: a) colmo: $Y = 53,9416 / [1 + \exp(4,0300 - 0,0300 * \text{DAC})]$, $R^2 = 0,55.$, b) planta inteira: $Y = 46,4477 / [1 + \exp(3,8480 - 0,0265 * \text{DAC})]$, $R^2 = 0,61.$, da cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura

Na Tabela 8, estão apresentados os parâmetros das equações logísticas para a predição dos teores de CS na fração colmo e planta inteira. Em termos gerais, o modelo logístico ajustou melhor aos dados quando considerado o teor de BRIX na planta inteira e o teor de POL na fração colmo (valores de R^2 e RQMR).

Tabela 8 - Parâmetros das equações logísticas geradas para a predição do teor de carboidratos solúveis em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) nas frações colmo e planta inteira

Variável	Fração	Parâmetro do Modelo [†]			R^2	RQMR [‡]
		a	c	k		
<i>BRIX</i>	Colmo	24,424±0,459	3,357±0,358	0,022±0,002	0,87	1,59
	P. Inteira	23,563±0,733	2,500±0,206	0,014±0,001	0,91	1,25
<i>POL</i>	Colmo	17,997±0,165	5,459±0,465	0,036±0,003	0,90	0,95
	P. Inteira	14,815±0,393	3,586±0,682	0,024±0,004	0,68	1,39
<i>CNF</i>	Colmo	47,042±1,097	2,496±1,731	0,025±0,011	0,24	2,79
	P. Inteira	44,825±3,617	1,612±0,488	0,012±0,004	0,55	4,01
<i>CSOH</i>	Colmo	53,942±1,078	4,030±1,0112	0,030±0,006	0,55	4,68
	P. Inteira	46,448±1,128	3,848±0,823	0,027±0,005	0,61	4,56

a : valor assintótico do acúmulo máximo de CS., c : constante de integração., k : índice de maturação em relação ao parâmetro a

[†]Os valores de dispersão dos parâmetros correspondem ao erro padrão

[‡]Raiz do quadrado médio do resíduo

Ao considerar os coeficientes do parâmetro k do modelo, destaca-se que o acúmulo de CS ocorre mais rápido após o ponto de inflexão (PIf), quando considerada a fração colmo em relação à planta inteira (maiores valores). Nesse sentido, o acúmulo de sacarose aparente no caldo (POL) e os carboidratos solúveis em extrato alcoólico (CSOH) foram as variáveis mais expressivas desse comportamento.

A dinâmica de acúmulo temporal de CS no colmo diferiu em relação à estimativa de predição considerada (Tabela 9). A taxa máxima de acúmulo de CS foi atingida mais rapidamente na estimativa CNF (98,53 DAC) quando comparada com as outras variáveis da fração solúvel. No entanto, as unidades consideradas pela indústria açucareira (BRIX e POL) foram mais próximas entre si, diferindo em apenas 4,37 dias.

Tabela 9 - Parametrização da curva logística na estimativa do acúmulo de carboidratos solúveis variedade IAC86-2480 na fração colmo

Parâmetro	Fórmula	<i>BRIX</i>	<i>POL</i>	<i>CNF</i>	<i>CSOH</i>
Ponto de inflexão (dias)	$x = c/k$	157,09	152,72	98,53	134,45
Ponto de inflexão (g 100 g ⁻¹ MS)	$y = a/2$	12,21	9,00	23,52	26,97
Máxima taxa de acúmulo (g 100 g ⁻¹ MS)	$y_{max} = \frac{a * k}{4}$	0,13	0,16	0,30	0,40

a: valor assintótico do acúmulo máximo de CS., *c*: constante de integração., *k*: índice de maturação em relação ao parâmetro *a*

Os resultados da parametrização do modelo logístico para a fração planta inteira estão apresentados na Tabela 10. Sem considerar o teor de CSA, o PIf para as diferentes estimativas de CS foi atingido aos 152 DAC, sendo em media 16 dias após da predição deste parâmetro para a fração colmo. O PIf do acúmulo de CNF na planta inteira ocorreu mais tardiamente em relação à predição desse parâmetro no colmo (35 dias depois).

Tabela 10 - Parametrização da curva logística na estimativa do acúmulo de carboidratos solúveis da variedade IAC86-2480 na planta inteira

Parâmetro	Fórmula	<i>BRIX</i>	<i>POL</i>	<i>CNF</i>	<i>CSOH</i>
Ponto de inflexão (dias)	$x = c/k$	175,37	149,75	136,88	144,99
Ponto de inflexão (g 100 g ⁻¹ MS)	$y = a/2$	11,78	7,41	22,41	23,22
(Máxima taxa de acúmulo (g100 g ⁻¹ MS)	$y_{max} = \frac{a * k}{4}$	0,08	0,09	0,13	0,31

a: valor assintótico do acúmulo máximo de CS., *c*: constante de integração., *k*: índice de maturação em relação ao parâmetro *a*

Para efeitos de comparação gráfica das predições de CS, são apresentadas as taxas instantâneas de maturação na fração colmo e planta inteira (Figura 11). Este parâmetro avalia percentualmente o acúmulo momentâneo da fração solúvel em relação à predição do parâmetro *a* do modelo logístico, que corresponde à predição do teor máximo de acúmulo de CS (assintota da curva), sendo um indicador indireto da maturidade da planta. Conforme as predições logísticas,

aos 300 DAC, a variedade IAC 86-2480 tem atingido aproximadamente 95% da concentração máxima de CS na fração colmo e, aproximadamente, 85% na planta inteira.

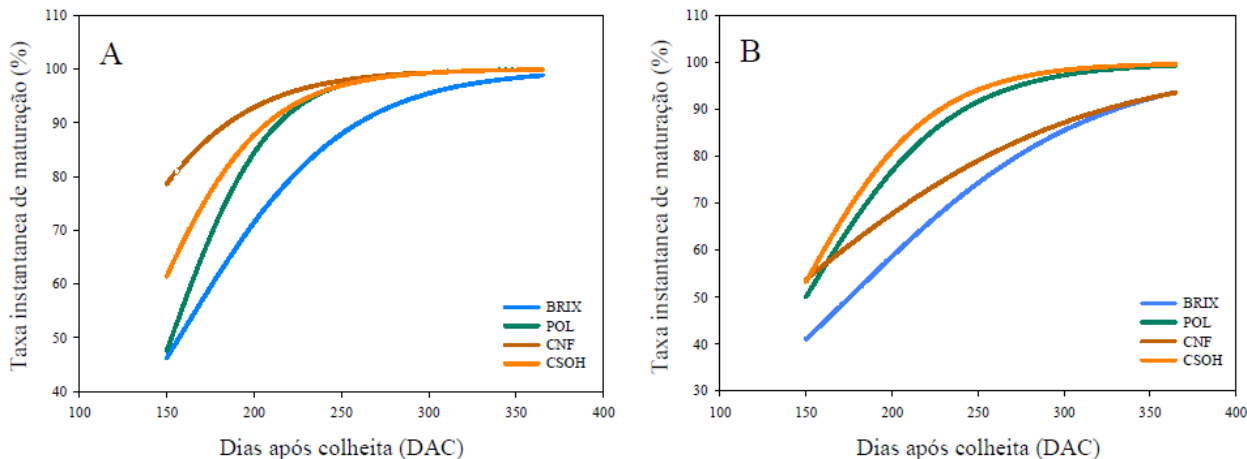


Figura 11 - Evolução temporal da taxa instantânea de maturação ($(1/Y) (dY/dDAC)$) na fração colmo (A) e planta inteira (B) da cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura

2.3.3 Relações FDN/CS e digestibilidade

As relações FDN/CS para as frações colmo e planta inteira são apresentadas na Figuras 12 e 13 respectivamente. Tendo em vista que as estimativas de CS apresentam diferentes magnitudes; procedeu-se à padronização dos valores médios obtidos das relações ($\mu = 0$, $\sigma^2 = 1$), para assim comparar graficamente os valores da relação FDN/CS em uma mesma escala relativa.

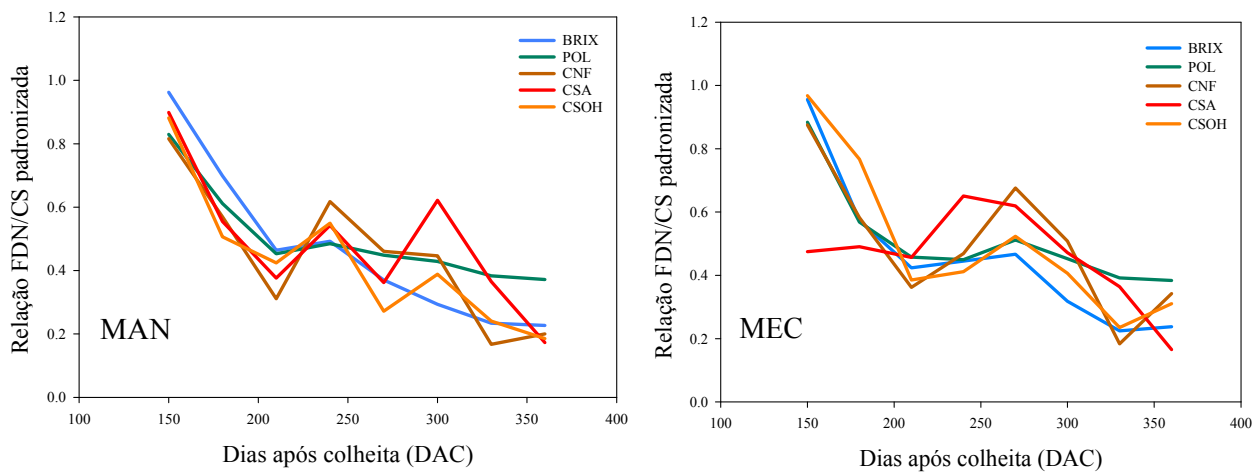


Figura 12 - Dinâmica temporal dos valores médios das relações FDN/CS padronizadas ($\mu = 0$, $\sigma^2 = 1$), da fração colmo em cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura considerando o método de colheita imposto no canavial (MAN: Manual, MEC: Mecânico)

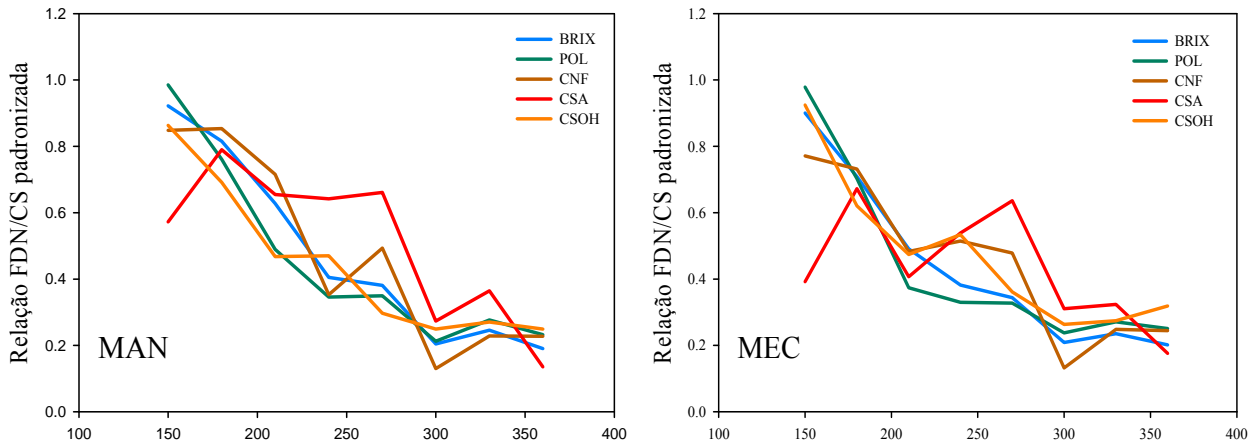


Figura 13 - Dinâmica temporal dos valores médios das relações FDN/CS padronizada ($\mu = 0$, $\sigma^2 = 1$), da fração planta inteira em cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura considerando o método de colheita imposto no canavial (MAN: Manual, MEC: Mecânico)

Como observado na Tabela 6, o método de colheita imposto no talhão somente teve efeito ($P < 0,05$) na dinâmica da relação FDN/CSOH na fração colmo, favorecendo a colheita manual em relação à colheita mecanizada (0,92 vs 1,02). Contrariando a expectativa, o método mecânico apresentou em média menor relação FDN/POL ($P < 0,05$) quando comparado com a colheita manual: 4,61 vs 4,85 respectivamente na escala original das variáveis, para a planta inteira.

As relações FDN/CS, foram apresentadas em ordem crescente as estimativas ao longo do período experimental (valores médios): FDN/CSOH, FDN/BRIX, FDN/CNF, FDN/POL e FDN/CSA para a fração colmo. Para a fração planta inteira a ordem foi: FDN/POL, FDN/CSOH, FDN/BRIX, FDN/CNF e FDN/CSA. Na fração colmo, as relações FDN/BRIX e FDN/POL mantiveram o mesmo comportamento até os 240 e 270 DAC na colheita manual e mecanizada respectivamente e, também foi observado aumento na relação padronizada da FDN/POL em relação à FDN/BRIX. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) das frações colmo e planta inteira da variedade de cana-de-açúcar estudada aumentou com o avanço da idade da planta. Após os 300 DAC a digestibilidade das amostras de colmo e planta inteira superaram o teor de 60% na maior parte das amostras colhidas, embora nessa data houvesse queda na digestibilidade do colmo em relação à fração planta inteira (Figura 14).

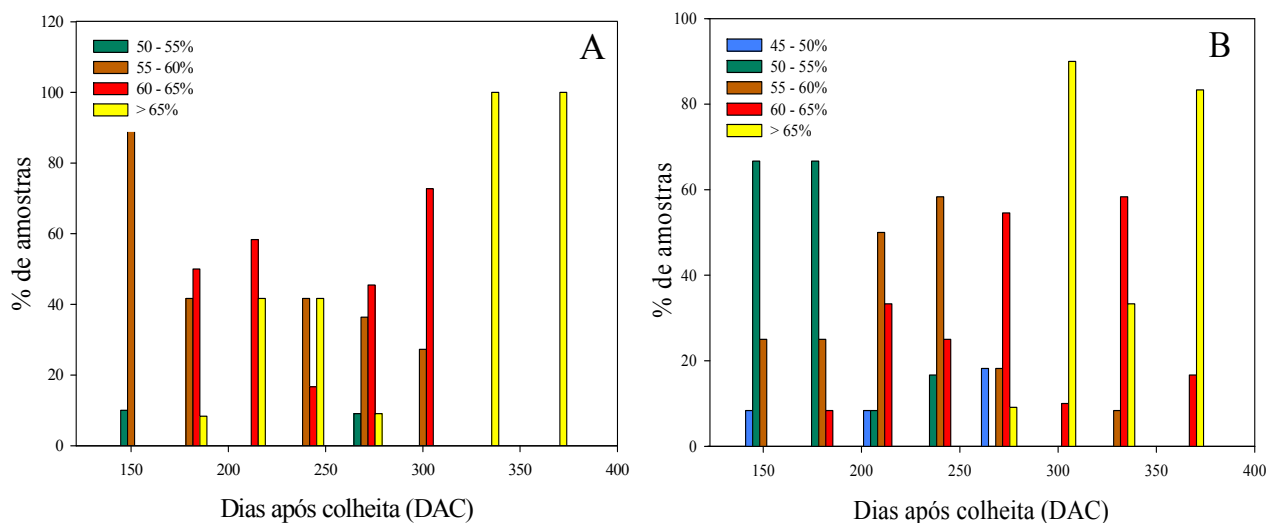


Figura 14 - Distribuição de freqüências da digestibilidade (% DIVMS) da fração colmo (A) e planta inteira (B) da cana-de-açúcar IAC 86-2480 ao longo do ciclo da cultura

Na Tabela 11, são apresentadas as correlações entre as diferentes estimativas de CS e os valores de digestibilidade das frações colmo e planta inteira.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson estimados entre as relações FDN/CS e os valores de digestibilidade das frações colmo e planta inteira em cana-de-açúcar IAC 86-2480

	<i>FDN/BRIX</i>	<i>FDN/POL</i>	<i>FDN/CNF</i>	<i>FDN/CSA</i>	<i>FDN/CSOH</i>
Colmo					
<i>DIVMS</i>	-0,5941*	-0,6639*	-0,8542*	-0,5922*	-0,6467*
<i>DIVMO</i>	-0,5751*	-0,6503*	-0,8109*	-0,5989*	-0,6477*
P. inteira					
<i>DIVMS</i>	-0,7189*	-0,6620*	-0,8601*	-0,4882*	-0,6060*
<i>DIVMO</i>	-0,7647*	-0,6871*	-0,8904*	-0,4929*	-0,6240*

*significativo a $P < 0,0001$

A variável FDN/CNF apresentou maiores valores de correlação em relação aos coeficientes de digestibilidade, embora em termos relativos ($\mu = 0$, $\sigma^2 = 1$), não correspondeu ao menor valor da relação FDN/CS.

2.3.4 Análise de componentes principais (ACP): fração colmo

A avaliação do grau de associação das variáveis bromatológicas em estudo para a fração colmo baseou-se nos quatro primeiros componentes que explicaram 86,9% da variação total, com

54,4% para o primeiro, 13,5% para o segundo, 11,5% para o terceiro e 7,5% para o quarto (Tabelas 12, 13, 14). Pela ACP estabelecida com base nos coeficientes de ponderação, para o componente principal 1 (Y1) determinou-se uma combinação positiva entre CNF, DIVMS, DIVMO e negativa para PB, FDN e FDA; o componente principal 2 (Y2) é uma combinação positiva entre BRIX, POL e CSOH, o componente principal 3 (Y3) esteve descrito pelo acúmulo de minerais (MM) e o componente principal 4 (Y4) pelo teor de CSA e MS. Com o intuito de interpretar significância biológica dos componentes principais, foram designados da seguinte maneira: Y1: alta digestibilidade vs. baixa digestibilidade, Y2: acúmulo de carboidratos solúveis, Y3: minerais, Y4: variações no teor de matéria seca.

Tabela 12 - Componentes principais da análise de variáveis bromatológicas estudadas em relação ao teor de CS da fração colmo em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) ao longo do ciclo da cultura

CPi	Variância (autovalor)	EVT (%)	VA (%)	Coeficientes de ponderação (autovetores)				
				<i>BRIX</i>	<i>POL</i>	<i>CNF</i>	<i>CSA</i>	<i>CSOH</i>
<i>Y1</i>	6,5314	54,4	54,4	0,2571	0,2653	0,3459	0,1436	0,1851
<i>Y2</i>	1,6158	13,5	67,9	0,4781	0,5127	-0,1611	-0,0204	0,5557
<i>Y3</i>	1,3849	11,5	74,4	-0,0187	-0,0872	-0,2986	0,4650	0,1305
<i>Y4</i>	0,8992	7,5	86,9	-0,1512	-0,0600	-0,0602	0,5016	-0,0705
<i>Y5</i>	0,7108	6,4	92,9	0,1364	-0,0150	-0,1618	-0,0705	-0,2037

CPi - componentes principais; EVT - explicação da variância total; VA - variância acumulada

As variáveis de acúmulo de CS no tempo: BRIX, POL, CSOH (Tabela 12) a exceção do teor de CNF, podem ser consideradas de importância média para explicar a composição nutricional da fração colmo na variedade IAC 86-2480 quando comparadas às variáveis associadas à fração fibrosa observadas na Tabela 13, que foram determinantes na predição do valor nutritivo (DIVMS, DIVMO), segundo o descrito no Y1 e observado na Tabela 14.

Tabela 13 - Componentes principais da análise de variáveis bromatológicas estudadas em relação ao teor de PB, MM, FDN e FDA da fração colmo em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) ao longo do ciclo da cultura

CPI	Variância (autovalor)	EVT (%)	VA (%)	Coeficientes de ponderação (autovetores)			
				<i>PB</i>	<i>MM</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>
<i>Y1</i>	6,5314	54,4	54,4	-0,3506	0,1137	-0,3707	-0,3487
<i>Y2</i>	1,6158	13,5	67,9	0,1185	-0,0449	0,1730	0,26240
<i>Y3</i>	1,3849	11,5	74,4	0,1780	0,7147	0,0565	0,0575
<i>Y4</i>	0,8992	7,5	86,9	-0,0304	-0,0080	0,0668	0,1349
<i>Y5</i>	0,7108	6,4	92,9	0,0787	0,5270	-0,0150	0,0058

CPI - componentes principais; EVT - explicação da variância total; VA - variância acumulada

O acúmulo de MM (*Y3*), e o teor de CSA que esteve associado com a MS no *Y4* (Tabela 12), foram medidas menos importantes na explicação da variabilidade total observada com base na análise de componentes principais.

Tabela 14 - Componentes principais da análise de variáveis bromatológicas estudadas em relação ao teor de MS e digestibilidade (*DIVMS*, *DIVMO*) da fração colmo em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) ao longo do ciclo da cultura

CPI	Variância (autovalor)	EVT (%)	VA (%)	Coeficientes de ponderação (autovetores)		
				<i>MS</i>	<i>DIVMS</i>	<i>DIVMO</i>
<i>Y1</i>	6,5314	54,4	54,4	0,1375	0,3686	0,3734
<i>Y2</i>	1,6158	13,5	67,9	0,1021	-0,1451	-0,1645
<i>Y3</i>	1,3849	11,5	74,4	-0,2865	0,1572	0,1174
<i>Y4</i>	0,8992	7,5	86,9	0,8276	-0,0547	-0,0402
<i>Y5</i>	0,7108	6,4	92,9	0,4159	0,0392	0,1161

CPI - componentes principais; EVT - explicação da variância total; VA - variância acumulada

A dispersão em eixos cartesianos dos dois primeiros componentes principais para as amostras da fração colmo colhidas mensalmente ao longo do ciclo da cultura de cana-de-açúcar é apresentada na Figura 15. Nota-se que as variáveis associadas à “indigestibilidade” da forragem (PB, FDN, FDA) encontram-se totalmente opostas à digestibilidade da fração colmo (DIVMS, DIVMO) e os teores de CNF como MM; vetores altamente correlacionados. Por outro lado, as estimativas de CS: BRIX, POL e CSOH tiveram o maior grau de associação com o acúmulo de MS no colmo ao longo do período experimental. O acúmulo de CSA não acompanhou as tendências observadas nas outras unidades de CS.

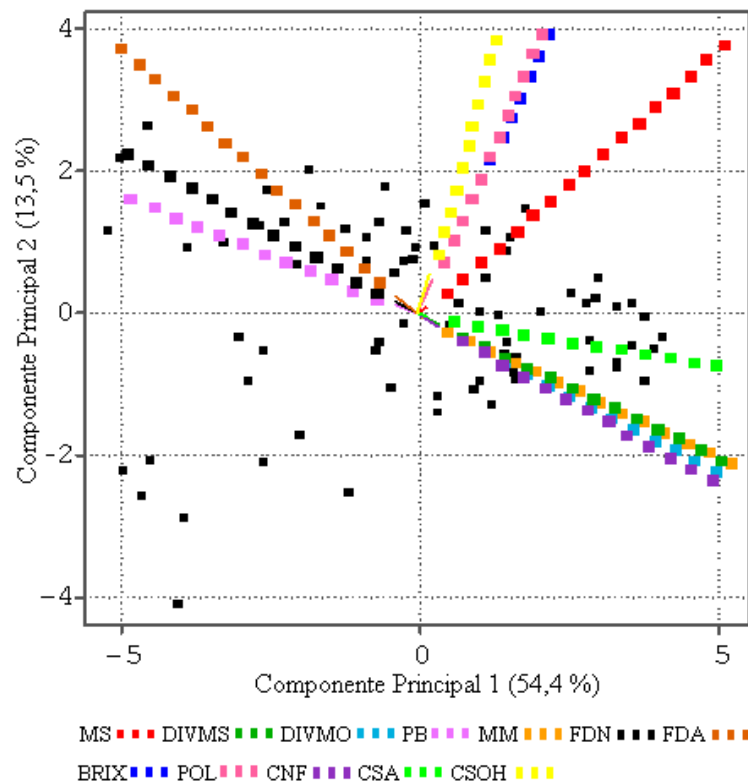


Figura 15 - *Biplot* de amostras da fração colmo (pontos pretos), sobre os vetores que representam as variáveis bromatológicas (linhas coloridas pontilhadas) em cana-de-açúcar (IAC 86-2480) colhida mensalmente ao longo do ciclo da cultura. O ângulo entre os vetores expressa o grau de correlação entre as variáveis

2.3.5 Análise de componentes principais: fração planta inteira

De acordo com a análise de componentes principais (ACP), das 96 amostras colhidas da fração planta inteira com base nas 12 variáveis bromatológicas determinadas verificou-se a necessidade de três componentes para explicar mais de 80% da variabilidade apresentada dos resultados das análises laboratoriais (Tabelas 15, 16, 17). A participação do Y1 na variância

acumulada da fração planta inteira foi maior em relação ao observado no colmo (64 vs 54 % respectivamente).

Tabela 15 - Componentes principais da análise de variáveis bromatológicas estudadas em relação ao teor de CS na fração planta inteira em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) em relação ao tratamento e ao período do ciclo da cultura

CPi	Variância (autovalor)	EVT (%)	VA (%)	Coeficientes de ponderação (autovetores)				
				<i>BRIX</i>	<i>POL</i>	<i>CNF</i>	<i>CSA</i>	<i>CSOH</i>
<i>Y1</i>	7,6823	64,0	64,0	0,3092	0,2641	0,3337	0,0653	0,2218
<i>Y2</i>	1,5039	12,5	76,5	-0,0580	-0,2057	-0,1771	0,5987	-0,2199
<i>Y3</i>	1,2287	10,2	86,8	0,3564	0,4841	-0,1919	0,3213	0,5484
<i>Y4</i>	0,5880	4,9	91,7	-0,0554	0,0600	-0,2294	-0,7068	0,2223
<i>Y5</i>	0,3908	3,3	95,0	0,1461	-0,1091	-0,0978	-0,0160	-0,1822

CPi - componentes principais; EVT - explicação da variância total; VA - variância acumulada

Pela ACP estabelecida com base nos coeficientes de ponderação, para o Y1 determinou combinação negativa para PB, FDN e FDA (Tabela 16) e positiva entre DIVMS, DIVMO (Tabela 17) além de CNF, (Tabela 15) de maneira semelhante ao ocorrido para a fração colmo. O Y2 esteve descrito pelo acúmulo de minerais (MM) e o Y3 constitui em uma combinação positiva entre BRIX, POL e CSOH (Tabela 14), mostrando este componente uma tendência antagônica ao observado na fração colmo. A interpretação biológica por tanto, é como segue, Y1: alta digestibilidade vs. baixa digestibilidade, Y2: minerais Y3: acúmulo de carboidratos solúveis.

Tabela 16 - Componentes principais da análise de variáveis bromatológicas estudadas em relação ao teor de PB, MM, FDN e FDA da fração planta inteira em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) ao longo do ciclo da cultura

CPi	Variância (autovalor)	EVT (%)	VA (%)	Coeficientes de ponderação (autovetores)			
				<i>PB</i>	<i>MM</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>
<i>Y1</i>	7,6823	64,0	64,0	-0,3297	0,0766	-0,3452	-0,3344
<i>Y2</i>	1,5039	12,5	76,5	0,0114	0,6935	0,0400	-0,0128
<i>Y3</i>	1,2287	10,2	86,8	0,2214	0,0507	0,1768	0,2813
<i>Y4</i>	0,5880	4,9	91,7	0,0399	0,5784	0,1171	0,0584
<i>Y5</i>	0,3908	3,3	95,0	0,0774	-0,2286	0,1454	0,1438

CPi - componentes principais; EVT - explicação da variância total; VA - variância acumulada

A participação de MM e CSA (*Y4*), assim como da MS (*Y5*) na composição nutricional da variedade IAC 86-2480 foi inexpressiva, embora esta última tivesse um valor maior de autovetor (Tabela 17).

Tabela 17 - Componentes principais da análise de variáveis bromatológicas estudadas em relação ao teor de MS e digestibilidade (*DIVMS*, *DIVMO*) da fração planta inteira em cana-de-açúcar (variedade IAC 86-2480) ao longo do ciclo da cultura

CPi	Variância (autovalor)	EVT (%)	VA (%)	Coeficientes de ponderação (autovetores)		
				<i>MS</i>	<i>DIVMS</i>	<i>DIVMO</i>
<i>Y1</i>	7,6823	64,0	64,0	0,2885	0,3486	0,3459
<i>Y2</i>	1,5039	12,5	76,5	0,1204	0,0811	0,1103
<i>Y3</i>	1,2287	10,2	86,8	-0,0073	-0,0996	-0,1607
<i>Y4</i>	0,5880	4,9	91,7	0,1553	0,0794	0,0895
<i>Y5</i>	0,3908	3,3	95,0	0,8991	-0,0972	-0,0765

CPi - componentes principais; EVT - explicação da variância total; VA - variância acumulada

De acordo com o *biplot* dos dois primeiros componentes principais (Figura 16), que explicaram o 76,5% da variância total dos dados, os vetores das variáveis da fração planta inteira

tenderam a se agrupar mais paralelos em relação ao eixo X, especialmente daquelas variáveis associadas à parede celular: PB, FDN e FDA. As estimativas de digestibilidade (DIVMS e DIVMO) estiveram mais correlacionadas com o acúmulo de MS em relação ao teor de CNF como observado na fração colmo, porém, não foi evidenciada sua participação na variância do componente Y1. Entre as variáveis de CS, vale à pena ressaltar que os vetores que representam os teores de BRIX e POL, não estiveram tão associados como observado no colmo; mas a estreita associação entre POL e CSOH foi mantida, devido ao maior acúmulo de PB e MM na planta inteira (vetores mais próximos entre si), embora não foi evidenciado nos teores médios observados (Tabela 5). Finalmente, o acúmulo de CSA esteve diretamente associado com o teor de MM na planta inteira, ao longo do ciclo da cultura.

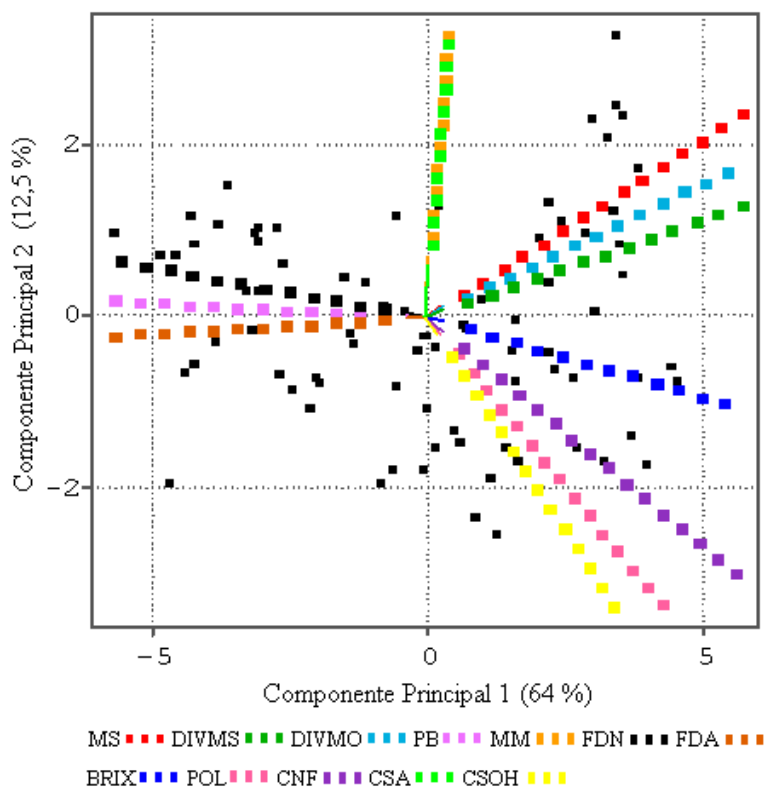


Figura 16 - *Biplot* de amostras da fração planta inteira (pontos pretos), sobre os vetores que representam as variáveis bromatológicas (linhas coloridas pontilhadas) em cana-de-açúcar (IAC 86-2480) colhida mensalmente ao longo do ciclo da cultura. O ângulo entre os vetores expressa o grau de correlação entre as variáveis

2.4 Discussão

O período abril-novembro corresponde à safra de colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, período que foi coincidente com a fase experimental do presente estudo. Como observado nas Tabelas 4, 5, 6 e 7, é evidente que as variáveis bromatológicas foram mais responsivas a idade da planta ($P < 0,001$) em comparação com o método de colheita imposto no talhão de cana (manual ou mecânico), conforme descrito por Thiago (2009). Somente foram detectadas diferenças associadas aos tratamentos na fração colmo ($P < 0,05$) para os teores de carboidratos solúveis em estrato alcoólico (CSOH) e a relação FDN/CSOH, sendo a colheita manual mais eficiente (0,92 vs 1,02). Isso se deve provavelmente ao fato de que a fração colmo obtido por colheita mecânica contém menor teor de carboidratos solúveis, uma vez que o terço inferior da planta normalmente por ser mais rico em açúcares, não é captado pela colhedora, o que determinou maior relação FDN/CSOH. Quanto à relação FDN/POL na planta inteira houve vantagens para a colheita mecânica (4,61 vs 4,85) caracterizando o menor colheita de folhas na colheita manual (SCHOGOR et al, 2009); fato que contribuiu para a concentração do teor de CSOH na planta.

Além da fase de crescimento da cultura, na mesma área experimental (SCHOGOR, 2008), foi evidenciado o efeito do ambiente na expressão das variáveis morfológicas da cana, uma vez que o peso e o comprimento do colmo mantiveram-se inalterados no período de maio a junho devido à ocorrência da seca, sendo que a partir de julho, o crescimento (perfilhamento) voltou a ocorrer decorrente do aumento das precipitações. Salgado et al (2003) mencionaram que o processo de maturação da cana-de-açúcar, começa em média três meses antes do tempo de corte para propósitos industriais, oportunidade em que ocorre redução da umidade da planta até atingir o teor de 73 – 75%, reduzindo a taxa de crescimento (perfilhamento) e é favorecida a conversão de açúcares redutores (glicose e frutose) até sacarose.

Em estudo conduzido na Austrália, Muchow; Robertson; Wood (1996), utilizando a função logística, demonstraram que o padrão de acúmulo de sacarose durante a fase de crescimento da cana-de-açúcar, acompanhou a dinâmica de acúmulo de MS na fração colmo nas duas variedades estudadas desde o ciclo da cana planta e primeira soqueira até os 455 e 421 após plantio, respectivamente. Nesse estudo, a produção máxima de sacarose no colmo foi observada 100 dias antes da colheita final (355 – 321 DAC), sendo que a biomassa mais do que a concentração de sacarose, foi o maior determinante da dinâmica de acúmulo de sacarose na fração colmo.

Em estudo prévio, Thiago (2009) verificou que o teor de MS da fração colmo foi crescente dos 120 aos 180 DAC, chegando a 25,2% aos 180 DAC quando permaneceu estável até a última avaliação aos 360 DAC. Isto pode ser um indicativo que após os 180 DAC quando o perfilhamento cessou (SCHOGOR, 2008) já teria sido iniciado o processo de acúmulo de sacarose nos perfilhos, como resultado da produção excedente de fotoassimilados (SEGATO et al, 2006). Em compensação outros componentes da MS, como a fração protéica e os minerais foram diluídos havendo a manutenção no teor de MS no colmo. Informações provenientes da parametrização dos modelos logísticos para as variáveis morfológicas consideradas na mesma área experimental por Schogor (2008) revelaram que aos 240 DAP o número de nós, o peso da planta e o peso dos nós atingiram os máximos valores dessas variáveis.

Mamet; Galwey (1999) ao estudarem a associação entre a alongação do colmo e a precocidade da maturação (acúmulo de açúcares) durante a fase de crescimento (19 – 41 semanas após plantio) em 64 genótipos de cana-de-açúcar (primeiro corte) em Mauritius (safra de colheita março – agosto), consideraram o teor de BRIX do colmo como medida de CS. Utilizando a função logística para a predição da alongação do colmo, os autores concluíram que o valor médio do ponto de inflexão para as variedades foi de 197 dias, diferindo em 30,7 dias os genótipos precoces e tardios. Em relação aos teores de BRIX, a análise de correlação fenotípica mostrou associação BRIX vs alongação do colmo negativa e significativa ($P < 0,01$) entre esses dois parâmetros até a semana 43 após plantio (301 dias). Ainda no mesmo estudo, foram determinadas as correlações das avaliações temporais do teor de BRIX no colmo com a determinação de teor de POL na cana. Tendo em vista que as correlações entre as medidas (positivas) foram significativas para todos os períodos avaliados ($P < 0,01$), os autores concluíram que a quantificação do BRIX no campo é um indicador adequado do teor de sacarose quando a planta ainda não atingiu a maturidade fisiológica.

No presente estudo, a predição do acúmulo de CS utilizando o modelo logístico foi mais adequada para as medidas consideradas na indústria sucroalcooleira, assim: BRIX (colmo e planta inteira) e POL na fração colmo foram bem associadas com as determinações de CNF e CSOH. A dinâmica temporal dos teores observados de CSA não ajustou matematicamente ao modelo proposto (baixos valores de R^2 , alto número de interações, não convergência). Esse fato pode ser um forte indicio da razão pela qual os valores da literatura para CSA são tão variáveis. All; Baker; Garcia (1982) e Freitas et al. (2006), encontraram amplitude de 410 até 540 g kg⁻¹ de

CSA em cana-de-açúcar colhida a diferentes idades contrastando com os teores descritos por Bernardes et al. (2002) e Pedroso et al. (2003), de 178 e 240 g kg⁻¹, respectivamente. Em todos os estudos mencionados, a cana-de-açúcar, havia atingido a sua maturidade fisiológica (acima dos 12 meses após plantio).

Possíveis interferências de outras moléculas associadas à fração solúvel da cana-de-açúcar (ex. proteína, minerais) que seriam obtidas em extrato alcoólico, mas que não foram retiradas com água destilada, poderiam influenciar grandemente na quantificação dos teores de açúcares totais das amostras (ASP, 1993; WISEMAN et al, 1960). Embora o método Fenol Sulfúrico (DUBOIS, et al, 1956) utilizado na quantificação CS seja específico para carboidratos (HALL, 2003), essa poderia ser uma explicação do porque a determinação de CSOH revelou-se mais adequada em relação a CSA em amostras de cana-de-açúcar.

O conceito de maturidade da cultura pode ser alterado em função da estimativa de CS considerada, embora esses diversos indicadores estimarem a fração solúvel da cana-de-açúcar. Esse fato sugere a necessidade de se avaliar com maior detalhamento as entidades químicas presentes em cada estimativa, principalmente CNF, CSA e CSOH devido à maior variabilidade envolvida nesses indicadores como observado nas curvas de acúmulo temporal (Figuras 8, 9, 10). Além disso, pouco é conhecido em relação as dinâmicas temporais dessas frações de CS. No entanto, pela evidência experimental a dinâmica de comportamento da variável CSOH foi a que mais se aproximou aos teores de BRIX e POL, variáveis tradicionalmente utilizadas na indústria açucareira e que se ajustaram melhor a função logística (R^2). Bindon; Botha (2002) afirmaram que os teores de fibra e a proteína são concorrentes com a sacarose pela entrada de carbono nos tecidos jovens da planta, o que poderia ser crítico na determinação de CS nos primeiros meses da fase de crescimento da cultura.

O parâmetro k do modelo logístico avalia a precocidade no acúmulo de CS após o ponto de inflexão (50% do máximo acúmulo) sendo uma constante que é independente da unidade utilizada na predição (BRODY, 1945). Assim, k controla a taxa de aumento de Y (acúmulo de CS) sobre X (DAC) após o ponto de inflexão (OVERMAN; SCHOLTZ III, 2002). No estudo de Muchow; Robertson; Wood (1996), o parâmetro k das curvas de acúmulo de sacarose no colmo, em planta de primeiro corte e soqueira de segundo ano, foram em média de 0,022 para soqueira e 0,021 para cana planta. No presente trabalho, somente BRIX do colmo e POL da planta inteira se aproximaram a esses valores. Os valores do parâmetro k foram diferentes ao considerar as duas

frações morfológicas estudadas, sendo em todos os casos maiores na fração colmo, a exceção do parâmetro para o modelo de acúmulo de CSOH que foi similar. A amplitude do parâmetro k das equações de regressão logística encontrada para as estimativas de acúmulo de CS (0,008 – 0,039) coincidiu com a amplitude apresentada no estudo de Schogor (2008) para a predição das seguintes variáveis morfológicas do mesmo talhão de cana (média dos tratamentos): peso da planta inteira, peso do colmo, diâmetro do colmo, altura das plantas, número de nós. Por tanto, pode se inferir que efetivamente o acúmulo de MS no colmo acompanhou o acréscimo na fração solúvel.

Contudo, as curvas de acúmulo das diferentes estimativas de CS indicam que dependendo da variável considerada na análise de predição, os resultados podem ter significância biológica diferente: ponto de inflexão, taxas de acúmulo (Tabela 9 e 10). Com base nos dados apresentados, as taxas máximas de acúmulo da fração solúvel diferiram entre os métodos de estimativa dos teores de CS tanto no colmo como na planta inteira. Nesse sentido, o teor de CNF foi a variável que estimou a taxa máxima de acúmulo mais antecipada em relação às outras estimativas da fração solúvel, especialmente na fração colmo aos 98,53 dias. Os teores de BRIX e POL foram similares em relação ao tempo (dias) para atingir o ponto de inflexão na fração colmo, diferindo em apenas ± 5 dias. Contudo, essas medidas diferiram consideravelmente na planta inteira, sendo que o BRIX foi a variável que mais diferiu em relação a sua estimativa na fração colmo (± 18 dias). O teor de POL teve o comportamento mais parecido nas duas frações morfológicas estudadas, mas foi a única variável que teve a predição mais antecipada do ponto de inflexão (Pif) na planta inteira (149,8 vs 152,7 dias).

Aos 12 meses após plantio a fração planta inteira da variedade IAC 86 – 2480 atingiu teores de POL de 14,8% (modelo logístico), considerando-se madura em relação ao acúmulo de sacarose a partir dessa idade de acordo com a classificação proposta por Wagih; Ala; Musa (2004) por meio do estudo de 26 variedades industriais usando equações quadráticas. O valor médio da POL observado no presente estudo (15,96%), estiveram acima da amplitude de variação reportada por Rodrigues et al. (2001), com valores de 14,83% a 15,77% em cana-de-açúcar colhida aos quinze meses após plantio.

Isto corrobora o descrito por Gilbert et al (2004) na Flórida (Estados Unidos) e Dib Nunes Jr (1987) na região sudeste do Brasil que mostraram que as variedades de cana-de-açúcar apresentaram curvas de maturação diferentes, sendo distintivos nessa curva a porcentagem de

sacarose e o florescimento para cada cultivar. Gilbert et al (2004) relataram que o maior acúmulo de sacarose observado em variedades de cana-de-açúcar na Flórida foi na segunda soqueira (terceiro corte) em relação ao primeiro plantio e a soqueira subsequente.

Ao avaliar as taxas instantâneas de maturação tanto no colmo como na planta inteira foram identificados três padrões logísticos de acúmulo de CS, assim: 1) POL e CSOH, 2) BRIX, 3) CNF (Figura 11). Pelo observado nas curvas, tem-se que aos 300 DAC foi atingido 95 e 85% do máximo acúmulo predito (parâmetro a) tanto na fração colmo como na planta inteira, respectivamente. Em condições australianas a simulação obtida a partir das equações propostas por Muchow; Robertson; Wood (1996), indicou maior precocidade das variedades ao atingir nesse período 99% da concentração máxima de sacarose predita pelo modelo logístico.

Gooding (1982) sugeriu a relação FDN/CS como importante variável na escolha de variedades de cana-de-açúcar para a alimentação de bovinos. Salas et al (1992) concluíram que a idade mais apropriada para colher a cana para propósitos de nutrição animal estaria entre os 10 e 12 meses após plantio ao considerar a menor relação entre o teor de FDN e CS. Porém, Rodrigues; Primavesi; Esteves (1997) num estudo comparando 10 variedades concluíram que a relação FDN/POL não é uma medida de alta exatidão, em decorrência de que o teor de FDN teve influência maior na variabilidade observada em relação à fração solúvel. Esse relato corrobora o exposto por Mello et al (2006) em estudo de nove variedades de cana-de-açúcar sob irrigação. Os autores verificaram variação de 8 unidades percentuais entre o maior e o menor valor de FDN. Ainda no estudo conduzido por Rodrigues; Primavesi; Esteves (1997) recomendaram valor de 2,7 (FDN/POL) como adequado em cana-de-açúcar colhida aos 12 (maio), 15 (agosto) e 17 (outubro) meses ano de idade na região sudeste do Brasil.

Por outro lado, Rodrigues et al. (2001) estudando dezoito variedades de cana-de-açúcar obtiveram variação para a relação FDN/POL de 2,88 a 4,14 e estabeleceram como referência para a escolha da variedades forrageiras de cana-de-açúcar o valor de 3,02, confirmadon o que foi descrito por Mello et al (2006) de 3,03. Por essa razão, a compreensão dos processos que controlam a taxa de acúmulo de carboidratos solúveis no tempo poderia ser utilizada como a base fisiológica da variação na composição bromatológica das frações anatômicas da planta com o intuito do desenvolvimento de variedades forrageiras de cana-de-açúcar. Nessa direção, variações nas concentrações das enzimas invertases, responsáveis pela maturação durante o ciclo de desenvolvimento da cana têm sido documentadas por diversos autores (SALGADO et al 2003;

KOMOR, 2000). Segundo esses autores, níveis baixos de atividade dessas enzimas são observados ao início do crescimento da planta, e logo conforme avança a idade da planta, o aumento da atividade desses sistemas enzimáticos é bem mais significativo durante a fase de crescimento máximo da cultura; esse fenômeno poderia explicar o motivo do anacronismo das relações FDN/BRIX e FDN/POL observadas a partir dos 240 e 270 DAC para a fração colmo e (Figura 12).

Carvalho (1992) verificou em cinco variedades de cana-de-açúcar que a concentração máxima de FDN ocorreu próximo dos 241 dias do ciclo da cultura, sendo que a partir desse momento, a taxa de queda da fração fibrosa é mais significativa conforme avanço da idade do canavial. Dependendo da idade fisiológica da cana-de-açúcar ao momento do corte, o teor de FDN pode variar de 40 a 65%, porém próximo da idade ideal de corte, a variação dessa fração é menor (BALSALOBRE et al., 1999). Oliveira (1996), em uma avaliação de 16 variedades observou que a proporção de FDN variou de 45,1 a 58% da MS, enquanto que o teor de FDA variou de 25,9 a 37,5% da MS. No presente estudo, os teores de médios de FDN foram de 44,32 e 54,15% no colmo e na planta inteira, respectivamente. Por outro lado, os teores de FDA foram mais próximos entre as frações morfológicas, 32,71 (colmo) vs 37,12 (planta inteira).

Implicações da grande variabilidade da fração FDN na cana-de-açúcar já foram discutidas por Nussio et al., (2006). Tendo em vista que a qualidade da forragem esta associada ao consumo voluntario de MS e a sua digestibilidade, o enchimento físico do rúmen causado pela porção fibrosa da forragem é o principal fator limitante do consumo voluntário em animais de alto potencial genético alimentado com dietas altas em forragens (MERTENS, 1994); embora consideráveis esforços tem se direcionado em melhorar a digestibilidade da forragem nos programas de melhoramento genético de plantas forrageiras, (CASLER; VOGEL, 1999).

Kung Jr e Stanley (1982) avaliaram a cana-de-açúcar de produção “bianaual” cortada aos 6, 9, 12 e 15 meses de crescimento e verificaram aumento na digestibilidade in vitro da matéria seca da forragem fresca de 52,6% para 58,1% com o aumento do período de crescimento. Essa alteração foi acompanhada pela elevação da concentração dos componentes solúveis e pelos decréscimos nos teores de fibra. Estes dados corroboram os observados por Pate (1977) que relatou incremento de 55,5% para 60% na DIVMO da cana-de-açúcar com o avanço da maturidade aos 336 dias. Banda; Valdez (1976) observaram elevação no teor de açúcares

solúveis, redução no teor de FDA e aumento de 57,5% para 70,5% na DIVMS da cana cortada aos 8 e 16 meses de desenvolvimento, respectivamente.

Como descrito na literatura, a digestibilidade da variedade IAC 86-2480 aumentou em decorrência da idade da planta (Figura 14), sendo o acréscimo mais expressivo a partir dos 330 DAC quando a totalidade das amostras da fração colmo atingiu valores acima de 65%. A planta inteira teve maior variação devido à maior proporção fibrosa por conta da variabilidade do número de folhas em cada uma das amostragens ao longo do ciclo da cultura.

A literatura tem preconizado a importância de escolher variedades com menores relações FDN/CS, a fim de aumentar a DIVMS da forragem e reduzir a limitação no consumo de MS pelos animais por conta do enchimento ruminal causado pela fibra. Todas as relações FDN/CS revelaram-se como parâmetros adequados para a escolha de variedades visando valor nutritivo tendo em vista as altas correlações negativas estabelecidas com a digestibilidade (DIVMS, DIVMO) tanto para a fração colmo como na planta inteira (Tabela 11). Rodrigues et al (2001) confirmaram essa observação ao avaliar a relação a associação entre FDN/POL e a DIVMS de 18 cultivares colhidos aos 12 meses após plantio encontrando correlação linear de -0,85, sendo superior a relação aquela encontrada no presente estudo (-0,66) embora ainda altamente significativa. FDN/CNF teve a maior associação com a digestibilidade da forragem (DIVMS), ao apresentar as maiores correlações tanto na fração colmo (-0,85) como na planta inteira (-0,86), confirmando a relação completamente inversa dessas duas variáveis bromatológicas. As correlações FDN/BRIX e FDN/CSA tiveram um grau de associação maior na planta inteira e na fração colmo respectivamente diferindo das outras relações FDN/CS que mantiveram valores similares entre as frações morfológicas. Ao comparar as relações FDN/CS padronizadas (Figuras 12 e 13) ficou em evidencia que FDN/CSOH apresentou os valores mais baixos na escala, contudo esse achado não foi conseqüente com o maior grau de associação com a DIVMS da forragem, tanto na fração colmo ($r = 0,65$) como na planta inteira (0,61).

A técnica multivariada de Análise de Componentes Principais (ACP) permite a análise de variáveis simultaneamente e de forma combinada, para obter inferências estatísticas dos escores ou relações que podem ser aplicadas de forma generalizada nos programas de seleção. Os estudos existentes na área têm sido relacionados com seleção de variedades em programas de melhoramento genético visando caracterizar a divergência nutricional dos genótipos. Cruz; Regazzi (2001) recomendaram que em estudos de divergência genética em plantas, os dois

primeiros componentes principais deveriam satisfazer mínimo de 80% da explicação da variância observada do conjunto de dados com o intuito de predizer adequadamente as inferências entre os genótipos, para fins de garantir a minimização do efeito do ambiente e um bom planejamento estatístico. Porém, nos trabalhos de divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar conduzidos no Brasil (AZEVEDO et al, 2003) os dois primeiros componentes principais têm acumulado a explicação da variância inferior à 69,9%. Ainda no mesmo estudo, ao avaliar a composição bromatológica, o presente trabalho revelou valores próximos aos relatados pelos autores para a fração colmo: 67,9%. Já na planta inteira, os dois primeiros componentes principais conseguiram explicar maior proporção da variância observada, se aproximando ao ideal: 76,5%. Contudo, vale ressaltar que o componente principal 2 (Y2) foi substituído de acúmulo de CS para acúmulo de minerais, mas contribuíram de maneira parecida na maximização da variância: 13,5 vs 12,5% respectivamente.

Nas figuras do tipo *biplot*, são representados os dois primeiros componentes principais que explicaram a maior variabilidade associada ao valor nutritivo do cultivar. Considerando que a maior proximidade entre dois vetores representa um maior grau de correlação positiva entre as variáveis, os valores de CSOH apresentaram colinearidade com teores de POL. Como mencionado nas curvas de acúmulo de CS, essas duas variáveis foram as mais próximas entre si comparadas com as outras estimativas da fração solúvel. Como visto no capítulo 3 desta dissertação, devido a grande significância do componente principal 1, (Y1) “digestibilidade vs indigestibilidade”, o valor nutritivo da fração colmo em cana-de-açúcar esteve mais correlacionado com a quantidade (g kg^{-1}) e com a qualidade (FDA) da fração fibrosa da forragem quando comparado ao componente principal 2, “acúmulo de carboidratos solúveis”. Isto coincide indiretamente ao encontrado por Teixeira (2004) que ao desenvolver equações do tipo *stepwise* para variáveis químicas e agrônômicas de 20 variedades de cana-de-açúcar em função da degradabilidade ruminal da MS, estabeleceu que o teor de FDA é o principal responsável da predição de valor nutritivo nesta cultura

Pate; Coleman (1975) a partir de dados obtidos de 66 variedades de cana-de-açúcar encontraram correlações não significativas entre os teores de proteína bruta, lipídeos e minerais com a digestibilidade in vitro da matéria orgânica (DIVMO), sendo estas variáveis bromatológicas de pouca relevância na predição do valor nutritivo, o que concorda com o observado no presente estudo mediante a análise ACP.

Com base na ACP, ficou reiterada a dificuldade em se adotar um termo genérico para descrever os carboidratos solúveis em cana-de-açúcar com fins forrageiros, devido ao fato de que as estimativas diferiram no grau de associação com as variáveis de digestibilidade (ex. DIVMS) e acúmulo de fibra (ex. FDN). Por outro lado, a deposição de minerais e CSA, estiveram mais associadas ao acúmulo de matéria seca. Na literatura científica consultada, não foram encontrados estudos que visem seleção de variáveis bromatológicas por meio da ACP considerando uma determinada variedade de cana-de-açúcar como proposto no presente estudo. Além disso, em futuras abordagens deverão ser considerados os efeitos das interações genótipo x cultivar (G x C) e genótipo x ano (G x A) nos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar devido às implicações na estimativa da herdabilidade dos teores de carboidratos solúveis nesta cultura (ex. BRIX do caldo) (KANG et al., 1987).

2.5 Conclusões

A fração “carboidratos solúveis”, não pode ser considerada como única devido aos padrões observados nas curvas de acúmulo associados a cada variável e a significância biológica dos parâmetros (precocidade). Nesse sentido a determinação de CS por meio de CSOH revelou-se como estimativa promissora de CS, por conciliar os critérios de dinâmica biológica do acúmulo de CS e sua significância em termos de valor nutritivo, verificado por meio das relações FDN/CS, digestibilidade e sua associação com outras variáveis identificadas na análise de componentes principais.

Referências

AFRC. **Características agrônomicas das principais variedades de cana-de-açúcar da Região Centro – Sul**. Associação dos fornecedores de cana da região de Catanduva – Departamento Técnico. Disponível em: <http://www.afrc.com.br/downloads/Informativos/VARIEDADES%20ATUALIZADA.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2011.

ALLI, I.; BAKER, B.E.; GARCIA, G. Studies on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.7, p.411-417, 1982.

ANDRADE, J.B. et al. Seleção de 39 variedades de cana-de-açúcar para a alimentação animal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 225-238, 2003.

ASP, N-G. **Nutritional importance and classification of food carbohydrates.** In: MEUSER, F. ; MANNERS, D.J. ; SEIBEL, W. (Ed.). **Plant Polymeric Carbohydrates.** Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1993. p. 121–126.

AZEVÊDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; CARNEIRO, P.C.S.; QUEIROZ, A.C.; BARBOSA, M.H.P.; FERNANDES, A.M.; RENNÓ, F.P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1431-1442, 2003a.

BALSALOBRE, M.A.; FERNANDES, R.A.T.; SANTOS, P.M. Corte e transporte de cana-de-açúcar para consumo animal. In: SIMPOSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 7 – 26.

BANDA, M.; VALDEZ, R.E. Effect of stage of maturity on nutritive value of sugar cane. **Tropical Animal Production**, Edinburg, v.1, n. 1, p. 94-97, 1976.

BERNARDES, T.F.; SILVEIRA, R.N.; COAN, R.M.; REIS, R.; MOREIRA, A.L.; ITURRINO, R.P.S. Características fermentativas e presença de levedura na cana-de-açúcar crua ou queimada ensilada com aditivo **In:** REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002. Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. 1 CD-ROM.

BINDON, K.A.; BOTHA, F.C. Carbon allocation to the insoluble fraction, respiration and triose phosphate cycling in the sugarcane stalk. **Physiologia Plantarum**, Kopenhagen, v. 116, p. 12 -19. 2002.

BOND, R.S. Maturity differences between varieties in the selection programme. **Proceedings Annual Congress South African Sugar Technologist Association**, Somália, v. 56, p. 136-139, 1982.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth.** New York: Rheinhold Pub., 1945. 645p.

CALIARI, M.; SOARES Jr, M.S.; SERRA, E.G. Programação matemática aplicada à colheita de cana-de-açúcar com ênfase na recuperação máxima de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 1-8, 2004.

CAMPOS, F.P.; NUSSIO, C.M.B.; NUSSIO, L.G. **Métodos de análise de alimentos.** Piracicaba: FEALQ, 2004. 135p.

CARVALHO, G.J. de. **Avaliação do potencial forrageiro e industrial de variedades de cana-de-açúcar (ciclo de ano) em diferentes épocas de corte.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras, 1992. 63p.

CASLER, M.D.; VOGEL, K.P. Accomplishments and impact from breeding for increased forage nutritional value. **Crop Science**, Madison, v.39, n.1, p.12-20, 1999.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. 5 ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar. Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2006. 111p.

CORREA, C.E.S.; PEREIRA, M.N.; OLIVEIRA, S.G.; RAMOS, M.H. Performance of Holstein cows fed sugarcane or corn silages of different grain texture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 621-629, 2003.

CORSI, M. BALSALOBRE, M.A.; SANTOD, P.M.; SILVA, S.C. da. Bases para o estabelecimento do manejo de pastagens de braquiária. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1994., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p.249-266.

COZZOLINO, D.; ACOSTA, Y.; GARCIA, J. Application of near infrared reflectancy spectroscopy (NIRS) to forage evaluation in Uruguay. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 19., 2001. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. 370p.

CRUZ, C.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. v.1 480p

DIB NUNES JR., M.S. Variedades de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 187-259.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, 1956, p. 350 – 356.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; da FONSECA, D.M.; DETMANN, E.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, E.S.; VITTORI, A. Composição química - bromatológica de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 977-985, 2003.

FREITAS, A.W.P.; PEREIRA, J.C.; ROCHA, F.C.; DETMANN, E.; BARBOSA, M.H.P.; RIBEIRO, M.D.; COSTA, M.G. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 229-236, 2006.

GILBERT, R.A.; SHINE, J.M.; MILLER, J.D.; RICE, R.W.; RAINBOLT, C.R. **Maturity Curves And Harvest Schedule Recommendations For CP Sugarcane Varieties**. Florida: University of Florida, 2004. IFAS extension: 13 p.

GOODING, E.G.B. Effect of quality of sugar cane on its value as livestock feed. **Tropical Animal Production**, Edinburgh, v. 7, p. 72 - 91, 1982.

HALL, M.B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis**. Florida: University of Florida, 2000. 42p. (Bulletin, 339).

HALL, M.B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 3226-3232, Dec 2003.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. **Novas variedades de cana-de-açúcar-2007**. Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Cana/Variedades.asp>>. Acesso em: 12 jul. 2011.

KANG, M.S.; MILLER, J.D.; TAI, P.Y.P.; DEAN, J.L.; GLAZ, B. Implications of confounding of genotype \times year and genotype \times crop effects in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, n. 3-4, p. 349-355, 1987.

KOMOR, E. The physiology of sucrose storage in sugarcane. Carbohydrates Reserves in Plants – Synthesis and Regulation. **Developments in Crop Science**, Amsterdam, v. 26, p. 35-53, 2000.

KUNG Jr, L. **Preparation of silage water extracts for chemical analyses**. Standard operating procedure – 001 2.03.96. ed. University of Delaware – Ruminant Nutrition Lab. – Worrilow 309. 1996.

KUNG, J.R , L.; STANLEY, R.W. Effect of stage of maturity on the nutritive value of whole-plant sugarcane preserved as silage. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 54, p. 689 - 696, 1982.

LANDELL, M.G.D.A.; CAMPANA, M.P.; RODRIGUES, A.D.A. **A variedade IAC86-2480 como nova opção de cana-de-açúcar para fins forrageiros: manejo de produção e uso na alimentação animal**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. 36p.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.527-534, 2009.

MAMET, L.D.; GALWEY N.W. A relationship between stalk elongation and earliness of ripening in sugarcane. **Experimental Agriculture**, New York, v. 35, p. 283-291, 1999.

MANLY, BRYAN F.J. **Multivariate statistical methods**. 3rd ed. Boca Raton:Chapman & Hall/CRC. CRC Press., 2005.

MELLO, S.Q.; FRANÇA, A.F.S.; LIMA, M.L.M.; RIBEIRO, D.S.; MIYAGI, E.S.; dos REIS, J.G. Parâmetros do valor nutritivo de nove variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia v.7, n.4, p.373-380, 2006.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.450-493.

MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483 p .

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J.; WOOD, A.W. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. II. Sucrose accumulation and commercial yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 27-36. 1996.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; SCHOGOR, A.L.B.; MARI, L.J. Cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3., 2006, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.277-328.

OLIVEIRA, M.D.S.; SAMPAIO, A.A.M.; CASAGRANDE, A.A. Estudo da composição químico-bromatológica de algumas variedades de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. v.2, p.314.

OVERMAN AR, SCHOLTZ RV III. **Mathematical models of crop growth and yield**. New York, Basel: Marcel Dekker AG. 2002. 328p.

PATE, F.M. Nutritive value of sugar cane at different stages of maturity. **Tropical Animal Production**, Santo Domingo, v. 2, n. 1, p. 108, 1977.

PATE, F.W. ; COLEMAN, S.W. Evaluation of sugarcane varieties as cattle feed. Florida Agricultural Experimental Station, Belle Glade, **AREC**, Res. Rep., EV-1975-4., 2002.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; LOURES; D.R.S.; PAZIANI, S.F.; RIBEIRO, J.L.; MARI, L.J.; ZOPOLLATO, M.; SCHMIDT, P.; MATTOS, W.R.S.; HORII, J. Fermentation, losses, and aerobic stability of sugarcane silages treated with chemical or bacterial additives. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.6, p.589-594, 2008.

PEDROSO, A.F. **Aditivos químicos e microbianos no controle de perdas e na qualidade de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L)**. 2003. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

PEREIRA, E.S.; QUEIROZ, A.C.; PAULINO, M.F.; CECON, P.R.; VALADARES FILHO, S.C.; MIRANDA, L.F.; FERNANDES, A.M.; CABRAL, L.S. Determinação das frações protéicas e de carboidratos e taxas de degradação in vitro da cana-de-açúcar, da cama de frango e do farelo de algodão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, Viçosa, n. 6, p. 1887 - 1893, 2000.

PRESTON, T.R. **Whole sugarcane as animal feed: An overview**. In: SANSOUCY, R.; AARTS, G.; PRESTON, T.R. (Eds.) FAO consultation sugar cane as feed. Rome: FAO, 1986. p.61-71.

REIS, R.A.; RUGGIERI, A.C.; CASAGRANDE, D.R.; PASCOA, A.G. Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.147-159, 2009 (suplemento especial).

ROBERTSON, M.J.; WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 11 – 25, 1996.

RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; BATISTA, L.A.R. Qualidade de dezoito variedades de cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, A.A.; PRIMAVESI, O.; ESTEVES, S.N. Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1333 - 1338, 1997.

SALGADO, G.S.; BUCIO, A.L.; RIESTRA, D.D.; LAGUNEZ, E.L.C. **Caña de azúcar: hacia un manejo sustentable**. Villahermosa, Tabasco, México,: Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. 2003. 394 p.

SCHOGOR, A.L.B.; NUSSIO, L.G.; MOURÃO, G.B.; MURARO, G.B.; SARTURI, J.O.; MATOS, B.C. Perdas das frações de cana-de-açúcar submetida a diversos métodos de colheita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.8, p.1443-1450, 2009.

SCHOGOR, A.L.B. **Avaliação agrônômica da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal**. Dissertação de Mestrado em Ciência Animal e Pastagens. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2008.165p.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 2006. p. 19 - 36.

SILVA, S.C.; NASCIMENTO Jr., D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, suplemento especial, p.121-138, 2007.

SILVA, M.A.; RODRIGUES, A.A. Composição bromatológica da cana-de-açúcar como forrageira em função da altura de corte e da época de colheita. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.5, n.4, p.621-626, 2010.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **SAS/STAT: user's guide, version 9.1**. Cary: 2006. 235p.

TEIXEIRA, C.B. **Determinantes da degradabilidade entre clones de cana-de-açúcar no rúmen de bovinos**. 2004. 72p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

THIAGO, R.D.R.T. **Avaliação nutricional da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal**. 2009. 100p. Dissertação de Mestrado em Ciência Animal e Pastagens. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2009.

WAGIH, M.E.; ALA, A.; MUSA, Y. Evaluation of Sugarcane Varieties for Maturity Earliness and Selection for Efficient Sugar Accumulation. **Sugar Technology**, Lucknow, v. 6, n. 4, p. 297 – 304, 2004.

WINSOR, C.P. The gompertz curve as a growth curve. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 18, n. 1, p. 1-8. Jan 15, 1932.

WISEMAN, W.G.H., MALLACK, J.C., JACOBSON, W.C. Silage analysis, determination of sugar in silages and forages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 8, p. 78–80, 1960.

3 PREDIÇÃO DO TEOR DE CARBOIDRATOS SOLÚVEIS E DIGESTIBILIDADE EM CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo

Objetivou-se com este estudo avaliar possíveis relações entre medidas morfológicas e químicas da planta que podem explicar o acúmulo de carboidratos solúveis (CS) e o valor nutritivo (digestibilidade) da cana-de-açúcar variedade IAC 93-3046, cultivada sob dois níveis de adubação no plantio (NPK e NPK associada com esterco – 120 kg N ha⁻¹) ao longo da fase de maturação da planta em cana de primeiro corte. As amostras foram colhidas manualmente durante os períodos de 300, 360, 420 e 540 dias após plantio (DAC), correspondendo aos meses de março, maio, julho e novembro de 2009. Foram consideradas quatro estimativas de CS: conteúdo de sólidos solúveis (BRIX), carboidratos não fibrosos (CNF), carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) e carboidratos solúveis em extrato alcoólico (CSOH). Não houve efeito ($P>0,05$) da adubação na concentração de CS, a exceção das folhas secas (FS), CSA e minerais, na fração colmo. Três padrões de acúmulo de CS (regressões quadráticas) foram identificados nas duas frações morfológicas da planta: a) BRIX e CSOH; b) CNF e c) CSA. Embora o POL não fosse considerado neste experimento, as análises das curvas de CS (BRIX e CSOH) confirmaram que a cana atingiu a maturidade no mês de setembro, sendo o máximo acúmulo mais antecipado na planta inteira em relação a fração colmo. Regressões simples e múltiplas (*stepwise*) foram consideradas para prever o acúmulo de CS, MS e o valor nutricional (digestibilidade). O modelo univariado apenas utilizou variáveis químicas na predição, a exceção do teor de BRIX da planta inteira (número de plantas/m² – PLM2). Equações do tipo *Stepwise* consideraram em todas as predições variáveis morfológicas, sendo a mais importante o número de nós (NN). Predições de MS e CSA tiveram o mais baixo poder estatístico tanto nas regressões simples quanto nas múltiplas (R^2 , RQMR). A qualidade da fibra (fração FDA) foi a variável que melhor ajustou nas predições de valor nutritivo (DIVMS, DIVMO) em amostras de cana-de-açúcar tanto nas regressões simples, quanto no *stepwise* ($R^2 > 0,81$).

Palavras-chave: Características morfológicas; Equações; Fibra em detergente ácido; Regressão *stepwise*

Abstract

This research studied possible relationships established between both morphological and chemical plant measurements that could explain soluble carbohydrates (SC) accumulation and feeding value (digestibility) of IAC 93-3046 sugarcane variety, under two levels of fertilisation at planting (NPK and NPK associated with cattle manure – 120 kg N ha⁻¹) along of ripening phase under plant crop conditions. Forage samples were collected manually at 300, 360, 420 and 540 days after planting (DAP), corresponding to March, May, July and November 2009. Were considered four CS measurements: solid content (BRIX), non fibrous carbohydrates (NFC), water soluble carbohydrates (WSC) and ethanol soluble carbohydrates (EtOH). There was no effect ($P>0.05$) of fertilisation on SC dynamics, chemical composition and morphological crop variables, with the exception to dry leaves (DLEAF), WSC and minerals (ASH), in stalk fraction

($P < 0.05$). The age of plant was the main factor responsible of the observed variability. Three SC accumulation patterns (quadratic regression) in sugarcane during this phase were identified: a) BRIX and EtOH, b) NFC e c) WSC. Although POL was not considered in this trial, the analysis of SC curves showed that BRIX and EtOH also reached to maturity in September at the Sao Paulo State. Simple and multiple (stepwise) regressions were considered to predict SC, DM accumulation and feeding value (digestibility). The univariate CS models only considered chemical variables to prediction, except to BRIX at the whole plant (number of plants/m² – PLM2). Stepwise equations have account also morphological crop variables to aimed statistical prediction, the most important: number of nodes (NN). Predictions of DM (whole plant) and WSC had the lowest power performed through simple and multiple equations (R^2 , RMSE). The quality of fiber (ADF fraction) showed the best fitting to feeding value prediction (IVDMD, IVOMD) in sugarcane samples for both simple and stepwise models ($R^2 > 0,81$).

Keywords: Acid detergent fiber; Equations; Morphological traits; Stepwise regression

3.1 Introdução

A cana-de-açúcar é colhida de abril a novembro nos diferentes ambientes de produção da região Centro-Sul do Brasil (SILVA et al, 2008). Nessa época do ano, caracterizada pela redução do fotoperíodo e da temperatura ambiental, os pecuaristas utilizam essa fonte de volumoso para corte diário ou para ensilagem, sendo o principal critério de colheita o tempo de crescimento da planta após plantio da lavoura ou ultimo corte (AMARAL; BERNARDES, 2010), aos 12 meses (cana de ano) ou aos 18 meses (cana de ano e meio). Estudos de campo com o objetivo de determinar os fatores responsáveis da variação da produção de CS na cana-de-açúcar têm sido conduzidos em alguns países onde a cultura é amplamente cultivada (ex. Australia, Africa do Sul). A maioria desses estudos tem utilizado informações da análise de crescimento e outras características da planta (arquitetura, idade, variedade), integradas com outras variáveis climáticas tais como a radiação, disponibilidade de água, temperatura, etc., para ajudar na predição de sacarose por meio do uso de diferentes modelos matemáticos (INMAN BARBER, et al, 2002; LIU; BULL, 2001; O'LEARY, 2000). Apesar do aumento expressivo na última década de publicações científicas nacionais envolvendo cana-de-açúcar para fins forrageiros, ainda há grande carência de trabalhos visando estabelecer os principais parâmetros agrônômicos associados aos teores de CS e outras estimativas bromatológicas do cultivo da cana-de-açúcar para seu uso como planta forrageira. No entanto, Teixeira, (2004) avaliando 20 clones de cana-de-açúcar em relação à degradabilidade ruminal da MS (DEGMS) e utilizando regressões do tipo *stepwise*, destacou três variáveis fundamentais na escolha das variedades forrageiras, assim, duas variáveis morfológicas: peso do e comprimento do colmo e uma bromatológica: o teor de FDA;

embora essas variáveis apresentarem herdabilidades médias e baixas respectivamente em relação à seleção direta por DEGMS ($h^2 = 0,87$).

O uso de equações de regressão simples múltiplas é um método indireto da estimativa do valor nutritivo da forragem que tem sido explorado em outras culturas tradicionais como milho (RUSSELL et al, 1992) e alfafa (HINTZ; ALBRECHT, 1991), tendo como vantagens a economia em tempo e dinheiro em relação às estimativas tradicionais de química líquida; fornecendo resultados com acurácia aceitável (KALU; FICK, 1981). Considerando que os estudos com animais são dispendiosos e exigem períodos relativamente longos de avaliação, outros procedimentos que permitam estimar o valor nutritivo poderão auxiliar na caracterização deste volumoso (AZEVEDO et al 2003).

Embora o canavial possa atingir a sua maturidade fisiológica com cerca de um ano de idade, é importante conhecer o efeito de colher a planta em diferentes épocas durante a safra da cultura, já que diferenças por conta de fatores ambientais podem ser relevantes no teor de carboidratos solúveis (CS) acumulado nos colmos, morfologia da planta e, no valor nutritivo para os ruminantes. O objetivo deste trabalho foi definir qual variável ou grupo de variáveis bromatológicas e morfológicas seriam prioritárias na construção de modelos matemáticos direcionados à predição do teor de CS e o valor nutritivo (digestibilidade) durante a época da safra em cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046), submetida a dois tipos de adubação no plantio.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Local experimental

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Zootecnia do campus “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) no município de Piracicaba, SP. O solo do local experimental é caracterizado como Terra Roxa, tipo Kandiuoldfic Eutrudox (Estruturado Eutrófico A Moderado, de textura Argilosa). Durante todo o período experimental foram monitoradas: temperatura (°C), precipitação (mm), umidade relativa do ar (%) e radiação solar ($\text{cal/cm}^2/\text{dia}^{-1}$), sendo os dados monitorados diariamente pelo posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas. Na Tabela 18, apresentam-se os dados climáticos correspondentes aos meses de colheita avaliados no presente trabalho.

Tabela 18 - Dados meteorológicos do local experimental nos meses de coleta avaliados

Mês coleta	Variáveis avaliadas					
	Radiação solar (cal/cm ² d ⁻¹)	Precipitação (mm)	U.R. ¹ (%)	T. Max (°C)	T. Min. (°C)	T. Média (°C)
Marco	457,42	125,10	78,90	30,81	19,43	25,12
Maio	357,23	10,60	78,45	27,46	13,94	20,70
Julho	268,00	61,60	83,58	24,20	12,63	18,42
Novembro	501,27	196,50	74,43	31,72	20,14	25,93

Fonte: ESALQ – Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Exatas (2009).
¹Umidade relativa; ²Temperatura maxima; Temperatura minima

Na figura 17 são apresentados os dados correspondentes à evolução da precipitação e temperatura mensais durante o ano de 2009 no local experimental.

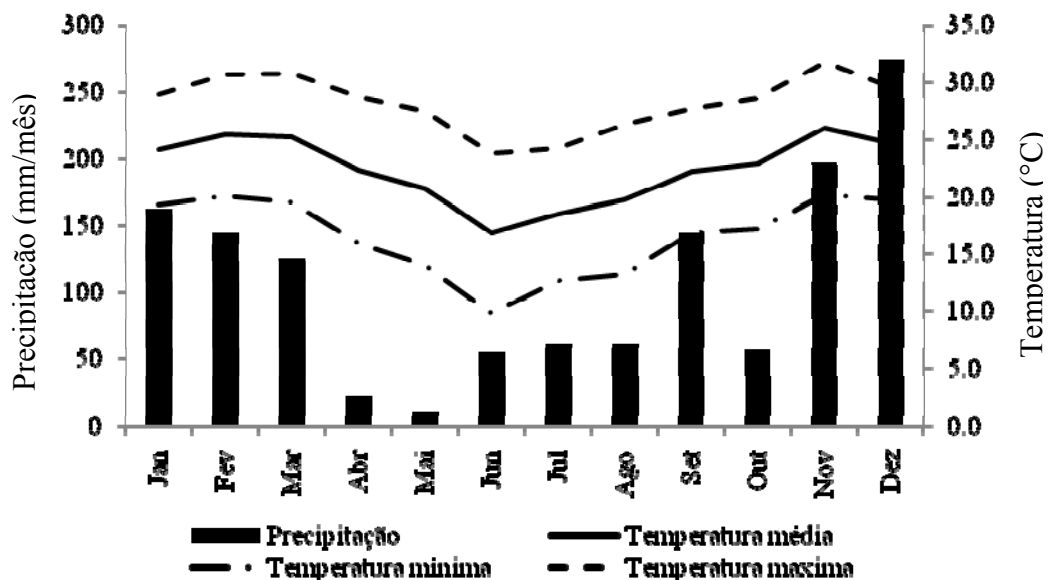


Figura 17 - Precipitação (mm) e média das temperaturas (°C) mensais da área experimental durante o ano de 2009. Fonte: ESALQ - Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Exatas (2009)

3.2.2 Procedimentos no campo

O período de experimentação foi de um ano, correspondente a um ciclo de produção de cana-de-açúcar (março – novembro, 2009), sendo que a coleta das amostras foi feita aos 300 (março), 360 (maio), 420 (julho) e 540 (novembro) dias após colheita (plantio). A cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046) foi plantada em maio de 2008 em uma área de 0,74 ha. No momento do plantio da cultura, foi aplicado 10,7 L ha⁻¹ de cupinicida (*endosulfan*[®]) e realizada a adubação de 250 kg ha⁻¹ de NPK 08:24:15 acrescido de esterco curtido. Os tratamentos foram compostos por dois níveis de adubação, sendo equivalentes a: 1) 600 kg ha⁻¹ de NPK 20:00:20 e 2) 300 kg ha⁻¹ de NPK 20: 00:20 acrescido de 6 ton ha⁻¹ de esterco curtido, objetivando a mesma dosagem de N (120 kg N ha⁻¹) segundo as recomendações do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (IAC, 2002).

Do total da área de canavial, foi selecionada uma área homogênea de 0,18 ha onde foi implantada a área experimental que foi composta por 6 blocos, divididos em 12 parcelas de dimensões de 15 m x 10 m (150 m²), cada uma sendo considerada como unidade experimental, com os tratamentos aplicados às parcelas. Entre cada bloco havia duas linhas de cana e duas áreas para separação de áreas. Cada parcela foi composta por 7 linhas de avaliação de 15 m cada, sendo o espaçamento entrelinhas de 1,4 m onde duas linhas foram consideradas como bordas inertes, três utilizadas para microbiologia (TOLEDO FILHO, 2010), e duas linhas para avaliação agrônômica e nutricional, (todas alternadamente) como descrito na Figura 18. No início de cada linha em cada parcela foram desconsiderados 1,5 m de borda, restando 12 m lineares onde foram coletadas as amostras para avaliação agrônômica e nutricional.

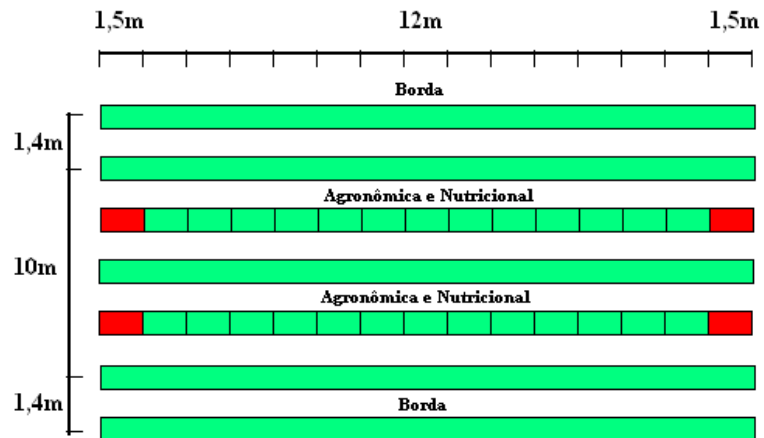


Figura 18 - Esquema das parcelas experimentais com identificação das linhas para as avaliações agrônômicas e nutricionais

3.2.3 Medidas morfológicas da cultura: avaliação agrônômica

A coleta das plantas foi realizada de forma manual com base no uso de facões. Em cada uma das duas linhas destinadas a avaliação agrônômica foi colhida a forragem disponível em 1 metro linear, totalizando 2 metros por parcela. Após a coleta, os perfilhos foram cuidadosamente acondicionados e enrolados em lonas plásticas para que não houvesse perda física de nenhuma estrutura e imediatamente levados ao Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia (ESALQ - USP) onde foram realizadas as avaliações morfológicas. O feixe foi pesado em balança móvel (capacidade 300 kg) e todos os perfilhos contados para a estimativa da produtividade da parcela. Dez perfilhos foram selecionadas aleatoriamente do feixe obtido de cada parcela, e realizadas as seguintes medidas morfológicas:

- a) **Folhas verdes (FV):** contagem das folhas verdes com ou sem lígulas visíveis, expandidas ou não, podendo apresentar sinais de senescência (SBRISSIA, 2004).
- b) **Folhas secas - mortas (FS):** contagem das folhas que apresentaram mais do 50% do limbo foliar comprometido pela senescência (SBRISSIA, 2004).
- c) **Plantas por metro quadrado (PLM2):** contagem do número de plantas contidas num quadrado de 1 m².
- d) **Número de nós (NOS):** contagem do número de nós presentes nos perfilhos, considerando como internós aqueles delimitados nas duas extremidades por nós e sem a presença da folha bandeira (TEIXEIRA, 2004).

- e) **Comprimento do colmo (CCOL):** distância em cm entre a base da planta (colo) e a última região auricular visível da folha +1, segundo método Kuijper (DILLEWINJ, 1952).
- f) **Diâmetro médio do colmo (DCOL):** medida realizada nos internós central do colmo, por meio do uso de paquímetro (cm) de acordo com Zacarias (1977).
- g) **Peso do colmo em base seca (PCOL):** peso em g obtido do produto da pesagem dos perfilhos em massa verde e o % de matéria seca (MS) obtido após secagem em estufa de circulação de ar forçada (60°C durante 72 horas).
- h) **Relação Folha:Colmo (FC):** expressada em percentagem, representa a relação do peso fresco das folhas (verdes + secas) dividido pelo correspondente valor do colmo (g).

3.2.4 Análises de carboidratos solúveis (CS)

3.2.4.1 Preparo de amostras

As análises de todas as amostras consideradas no experimento foram realizadas nas dependências do Laboratório de Bromatologia pertencente ao Departamento de Zootecnia da ESALQ-USP. As amostras foram picadas em triturador forrageiro (TRAPP – TRF 70[®]) e acondicionadas para as determinações da fração solúvel: 1) extração do caldo dos internós médios de 10 feixes por amostra para a leitura dos graus BRIX; 2) sub amostras de aproximadamente 300 g foram dispostas em sacos de papel para secagem em estufa de circulação forçada a 60°C durante 72 horas e moídas em moinhos tipo Wiley com peneira de malha de 1 mm para a determinação da MS (CAMPOS et al., 2004) e obtenção do extrato alcoólico (HALL, 2000) e 3) sub amostras de cana fresca picada (100 g) foram armazenadas em saco plástico e congeladas imediatamente (-20°C) de acordo com a metodologia proposta por Kung Jr. (1996) para a extração dos carboidratos solúveis em meio aquoso.

3.2.4.2 Obtenção de extratos para a determinação da fração solúvel

Para a obtenção do extrato alcoólico foram pesados $0,5 \pm 0,02$ g de forragem seca em balões Erlenmeyer de 250 mL de capacidade. Foram adicionados 100 ± 2 mL de solução alcoólica (etanol 80% em água destilada) e imediatamente a boca dos balões foi tampada com filme plástico PVC de espessura 0,06-1,00mm. Os balões foram dispostos em banho metabólico

MARCONI[®] (Ref. MA-093) e submetidos à agitação durante 4 horas a uma temperatura de 17–22 °C. Após esse tempo, o extrato para a determinação dos carboidratos solúveis em etanol (CSOH) por meio de filtragem em papel de filtro Whatman[®] 54, e armazenado em tubos tipo Eppendorf[®] de 1,5 mL a -20 °C.

O extrato aquoso foi obtido após o descongelamento das amostras de forragem, onde 25 g de forragem fresca foram adicionados de 225 mL de água deionizada e posteriormente processados em liquidificador industrial durante um minuto, sendo o extrato filtrado em papel Whatman[®] 54 e centrifugado por 15 minutos a 10000 rpm. O líquido remanescente foi pipetado e armazenado em tubos tipo Eppendorf[®] de 1,5 mL a -20 °C.

3.2.4.3 Determinação dos teores de CS

No caldo extraído pela prensa, determinou-se o BRIX no colmo (teor de sólidos solúveis) utilizando refratômetro digital de leitura automática com correção automática de temperatura, sendo o valor final expresso a 20 °C (CONSECANA, 2006). O valor do BRIX na planta inteira foi estimado a partir da seguinte equação gerada da base de dados do capítulo anterior desta dissertação.

$$BRIX_{\text{planta inteira}} = -0,0944 + 0,8528 * BRIX_{\text{colmo}} \quad (r^2 = 0,83)$$

As leituras do BRIX foram feitas na base e no topo do colmo para assim determinar o índice de maturidade da cultura de acordo com a equação proposta por CONSECANA. Colmos acima de 85% consideram-se maduros e aptos para a colheita (CONSECANA, 2006).

$$IM = \frac{BRIX_{\text{topo}}}{BRIX_{\text{base}}} * 100$$

Em que:

IM: Índice de maturação (%)

BRIX_{topo}: Teor de BRIX (% no caldo) amostrado na base do colmo

BRIX_{base}: Teor de BRIX (% no caldo) amostrado na base do colmo

A fração de CNF obtida pela diferença aritmética das variáveis bromatológicas convencionais foi obtida através da seguinte equação (NRC, 2001):

$$CNF (\%) = 100 - (\%PB + \%FDN + \%EE + \%MM)$$

Em que:

CNF: Carboidratos não fibrosos

PB: Proteína bruta

FDN: Fibra em detergente neutro

EE: Extrato etéreo

MM: Material mineral

Os teores de CS, após extração em solvente (aquoso, alcoólico), foram quantificados pelo método fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) modificado por Hall (2000), sendo as leituras espectrofotométricas realizadas a $\lambda = 490\text{nm}$ em espectrofotômetro FEMTO[®] PLS PLUS; utilizando sacarose pura para a construção da curva padrão. Devido ao alto teor de carboidratos solúveis da cana-de-açúcar, procedeu-se a uma segunda diluição das amostras laboratoriais de carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) e CSOH para serem obtidas leituras consistentes.

3.2.5 Análises bromatológicas

Em função do número expressivo de amostras originado pelo presente experimento, para as análises da composição bromatológica das variáveis MM, PB, FDN, FDA, DIVMO, DIVMS; utilizou-se o método de espectroscopia de reflectância de infravermelho proximal (NIRS) de acordo com Cozzolino et al. (2001). O equipamento utilizado foi o espectrômetro modelo NIRS 5000 (NIRSystems[®], Silver Spring MD, USA) acoplado a um microcomputador equipado com software WinISI versão 6.2 (Intrasoft International, PA). As amostras moídas foram acondicionadas em células de leitura modelo “*Transporter Quarter Cup*” (cód. IH – 0379) sendo, em seguida, escaneadas para a obtenção dos espectros ($\lambda = 700 - 2100\text{nm}$) e armazenados em curvas $\log 1/R$, (sendo R é o valor de reflectância). O software estimou a composição químico-bromatológica da forragem por meio de equações de predição geradas a partir da base de dados do programa. As relações FDN/CS, foram estabelecidas uma vez obtidos os valores de composição da fração solúvel e o valor da FDN (% MS).

3.2.6 Análises estatísticas

Um total de 480 observações para cada fração morfológica: colmo e planta inteira foram usados para a predição do teor de CS (BRIX, CNF, CSA, CSOH), MS e valor nutritivo (DIVMS, DIVMO) a partir das medidas morfológicas e variáveis bromatológicas (% da MS). Em relação às variáveis agronômicas, considerou-se o mesmo conjunto de dados tanto para a fração colmo como para a planta inteira. As taxas de acúmulo de CS, assim como as equações de predição (simples e múltiplas) de CS, MS e digestibilidade foram expressas em unidades de g kg^{-1} , a exceção do teor de BRIX (%).

O experimento foi composto por blocos inteiramente aleatorizados sendo seis blocos com duas parcelas cada, havendo dois tratamentos (tipos de adubação). Para a análise estatística das variáveis foi utilizado o modelo matemático que inclui os efeitos fixos de tratamento, além dos efeitos aleatórios do bloco, bloco * tratamento e resíduo, utilizando-se o procedimento MIXED do sistema estatístico SAS v. 9.1, conforme descrito pelo modelo matemático a seguir.

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + t_j + d_k + (td)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado no k -ésimo DAC, do j -ésimo bloco no i -ésimo tratamento;

μ : média geral

β_j : efeito aleatório associado ao j -ésimo bloco no i -ésimo tratamento;

t_j : efeito fixo do i -ésimo tratamento; $i = 1, 2$;

d_k : efeito fixo do k -ésimo DAC; $k = 300, 360, 420, 540$;

$(td)_{ik}$: efeito fixo da interação do i -ésimo tratamento com o k -ésimo DAC;

ε_{ijk} : erro aleatório associado ao k -ésimo bloco, no i -ésimo bloco, no i -ésimo tratamento e k -ésimo DAC; assumindo $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

As comparações entre médias para os efeitos estudados foram realizadas por meio do teste de t ao nível de 5% de significância. Equações quadráticas de acúmulo temporal das estimativas da fração solúvel foram estabelecidas com o intuito de descrever o comportamento temporal das mesmas ao longo do tempo de maturação da cultura (PROC REG, SAS, v. 9.1).

Uma vez verificado o efeito dos tratamentos (adubação no plantio), associações entre variáveis morfológicas e bromatológicas da cana-de-açúcar *in natura*, foram estabelecidas por meio de regressões simples e múltiplas (*stepwise*) utilizando o procedimento PROC REG do sistema SAS v. 9.1. As regressões lineares simples (i, ii) e múltiplas (iii) foram usadas para relacionar cada variável independente (Y) em resposta das variáveis dependentes.

$$Y = a + bx \text{ [i]}$$

$$Y = a + bx^2 + cx \text{ [ii]}$$

$$Y = a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots + b_nx^n \text{ [iii]}$$

No caso das regressões do tipo *stepwise*, variáveis adicionais são incluídas na equação até que não se identifique alteração significativa do R^2 , ou variáveis deixam de ser retiradas a partir do momento em que começam a diminuir significativamente o R^2 de acordo com Harris et al., (1972). Assim, as melhores equações foram selecionadas com base no critério de simplicidade (não mais de três variáveis independentes), coeficiente de determinação (R^2) e a raiz do quadrado médio do resíduo (RQMR).

3.3 Resultados

3.3.1 Tipo de adubação no plantio

As médias das variáveis morfológicas são apresentadas na Tabela 19. A fonte de adubação nitrogenada apenas teve efeito no número de folhas secas (FS) observada durante o período de avaliação ($P < 0,05$).

Tabela 19 - Análise dos valores médios das variáveis morfológicas nas frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046) em relação à fonte de adubação nitrogenada ao longo do período de maturação

Variável	Unidades	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>FV</i>	número	8,92	0,09	0,5875	<0,0001	0,6184
<i>FS</i>	número	2,41	0,08	0,0437	<0,0001	0,0516
<i>PLM2</i>	número	10,23	0,13	0,5009	<0,0001	0,9097
<i>NOS</i>	número	15,70	0,26	0,5033	<0,0001	0,7840
<i>CCOL</i>	cm	257,59	1,57	0,5926	<0,0001	0,4284
<i>DCOL</i>	cm	2,77	0,01	0,4726	<0,0001	0,1373
<i>PCOL</i>	g MS	409,00	0,01	0,6957	<0,0001	0,9797
<i>FC</i>	%	11,70	0,21	0,2045	<0,0001	0,2502

[†]EPM - Erro padrão da média. FV: Folhas verdes, FS: Folhas secas, PLM2: Plantas por metro quadrado, NOS: Número de nós, CCOL: Comprimento do colmo, DCOL: Diâmetro do colmo, PCOL: Peso do colmo em base seca. FC: Relação Folha:Colmo em base fresca

Na Tabela 20, são apresentados os valores médios das estimativas de CS e do IM. Como observado, a fonte de nitrogênio na adubação no plantio apenas teve efeito sobre o teor de CSA observado na fração colmo ($P < 0,05$).

Tabela 20 - Análise dos valores médios do teor de CS e do IM (%) nas frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046) em relação à fonte de adubação nitrogenada ao longo do período de maturação

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>BRIX</i>	Colmo	16,48	0,19	0,2920	<0,0001	0,0646
	P. Inteira	13,95	0,16	0,2916	<0,0001	0,0636
<i>CNF</i>	Colmo	49,65	0,24	0,4408	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	40,47	0,21	0,5712	<0,0001	<0,0001
<i>CSA</i>	Colmo	40,06	0,42	0,0272	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	30,08	0,47	0,9497	<0,0001	0,0160
<i>CSOH</i>	Colmo	48,33	0,63	0,4561	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	33,79	0,51	0,7444	<0,0001	0,0014
<i>IM</i>	Colmo	93,34	2,17	0,3803	<0,0001	0,2857
	P. Inteira	93,21	2,41	0,3754	<0,0001	0,2417

Os resultados para as variáveis bromatológicas das frações colmo e planta inteira são apresentados na Tabela 21. A única variável bromatológica que teve diferença entre os tratamentos foi o teor de MM observado na fração colmo ($P < 0,05$).

Tabela 21 - Análise dos valores médios das variáveis bromatológicas (%) das frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046) em relação à fonte de adubação nitrogenada ao longo do período de maturação

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>MS</i>	Colmo	24,12	0,17	0,9074	<0,0001	0,0025
	P. Inteira	25,94	0,17	0,8522	<0,0001	<0,0001
<i>PB</i>	Colmo	2,58	0,00	0,0723	<0,0001	0,0709
	P. Inteira	2,78	0,00	0,8132	<0,0001	<0,0001
<i>MM</i>	Colmo	0,86	0,04	0,0180	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	1,80	0,04	0,9437	<0,0001	<0,0001
<i>FDN</i>	Colmo	48,83	2,23	0,2128	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	55,98	0,17	0,4384	<0,0001	<0,0001
<i>FDA</i>	Colmo	31,36	1,43	0,8827	<0,0001	0,0726
	P. Inteira	36,14	0,10	0,3364	<0,0001	<0,0001
<i>DIVMS</i>	Colmo	66,55	3,04	0,8522	<0,0001	0,0001
	P. Inteira	58,61	0,17	0,3164	<0,0001	<0,0001
<i>DIVMO</i>	Colmo	67,04	3,06	0,7612	<0,0001	0,0135
	P. Inteira	58,82	0,18	0,6209	<0,0001	<0,0001

[†]: EPM - Erro padrão da média

Na Tabela 22, são apresentados os valores médios das relações FDN/CS. Não houve diferença estatística entre os tratamentos ($P > 0,05$).

Tabela 22 - Análise dos valores médios das estimativas das relações FDN/CS (escala) nas frações colmo e planta inteira na cana-de-açúcar (variedade IAC 93-3046) em relação à fonte de adubação nitrogenada ao longo do período de maturação

Variável	Fração	Média	EPM [†]	Efeitos		
				Tratamento (T)	DAC (M)	T*M
<i>FDN/BRIX</i>	Colmo	3,29	0,06	0,8916	<0,0001	0,0019
	P. Inteira	3,73	0,07	0,4990	<0,0001	0,0027
<i>FDN/CNF</i>	Colmo	1,01	0,01	0,1737	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	1,42	0,01	0,6960	<0,0001	<0,0001
<i>FDN/CSA</i>	Colmo	1,27	0,02	0,0916	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	2,15	0,05	0,5491	<0,0001	0,0554
<i>FDN/CSOH</i>	Colmo	1,13	0,03	0,2765	<0,0001	<0,0001
	P. Inteira	1,87	0,04	0,7451	<0,0001	<0,0001

†EPM - Erro padrão da média

Para comparar o efeito da fonte de adubação nitrogenada no plantio sobre as variáveis: FS na planta inteira, CSA e MM na fração colmo; o teste t foi empregado a 5% de significância. A adubação orgânica foi superior ($P < 0,05$) em relação ao maior número de FS observado na planta inteira: 2,60 vs 2,21, assim como do maior acúmulo de CSA: 43,64% vs 36,50%, e, MM: 1,14% vs 0,57% quando comparada com a adubação química.

3.3.2 Equações de acúmulo de CS e determinação do ponto de maturação

Dinâmicas temporais das estimativas da fração solúvel ao longo do período de maturidade da cultura foram estabelecidas por meio de regressões quadráticas (Tabela 23). As equações para BRIX tiveram o maior poder de predição quando avaliado na fração colmo quanto na planta inteira (R^2 do modelo). Por outro lado CSA, além de apresentar uma grande variabilidade dos valores observados, mostrou uma tendência atípica na planta inteira em relação às outras variáveis de CS, atingindo um ponto de mínimo acúmulo, mais ou menos coincidente com o teor máximo observado na fração colmo.

Tabela 23 - Equações de predição quadráticas para as diferentes estimativas de CS (BRIX, CNF, CSA, CSOH) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 ao longo do período de maturação da cultura

Variáveis	Unidade	Fração	Regressão Quadrática	R^2	RQMR†
BRIX	(%)	Colmo	$Y = -48,6974 + 0,2860X - 0,0003X^2$	0,86	1,55
	(%)	P. Inteira	$Y = -41,6249 + 0,2439X - 0,0003X^2$	0,86	1,32
CNF	(g kg ⁻¹)	Colmo	$Y = -173,2802 + 2,9090X - 0,0030X^2$	0,58	34,64
	(g kg ⁻¹)	P. Inteira	$Y = -261,3732 + 3,0086X - 0,0032X^2$	0,49	33,04
CSA	(g kg ⁻¹)	Colmo	$Y = -100,7562 + 2,5774X - 0,0031X^2$	0,05	77,10
	(g kg ⁻¹)	P. Inteira	$Y = 930,2900 - 3,2909X + 0,0040X^2$	0,08	86,38
CSOH	(g kg ⁻¹)	Colmo	$Y = -1492,4979 + 8,9109X - 0,0093X^2$	0,80	53,10
	(g kg ⁻¹)	P. Inteira	$Y = -1154,5967 + 6,7849X - 0,0072X^2$	0,61	60,61

†Raiz do quadrado médio do resíduo

Para efeitos de comparação gráfica das predições de CS, são apresentadas as taxas instantâneas de maturação para a fração colmo como na planta inteira, assim como os pontos de máximos ou mínimos das funções quadráticas (Figura 19 e 20).

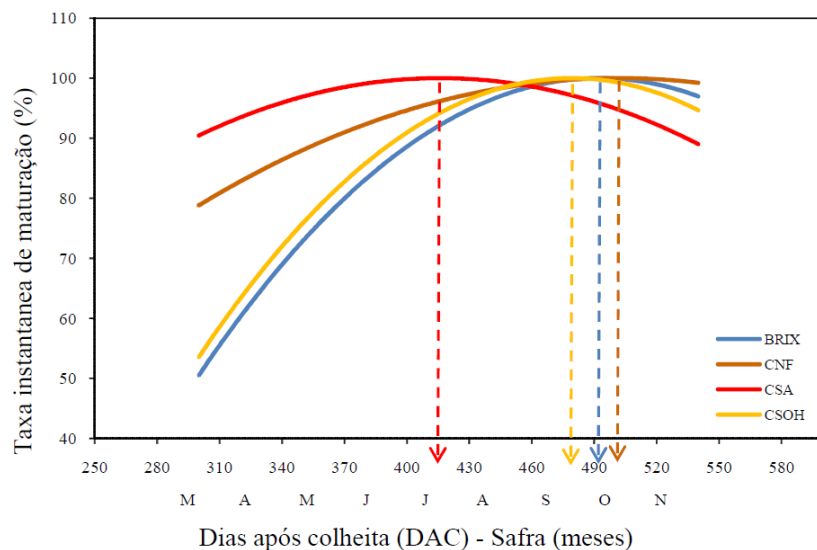


Figura 19 - Evolução temporal da taxa instantânea de maturação (acúmulo atual/ acúmulo máximo * 100) na fração colmo em cana-de-açúcar IAC 93-3046 ao longo do período de maturação

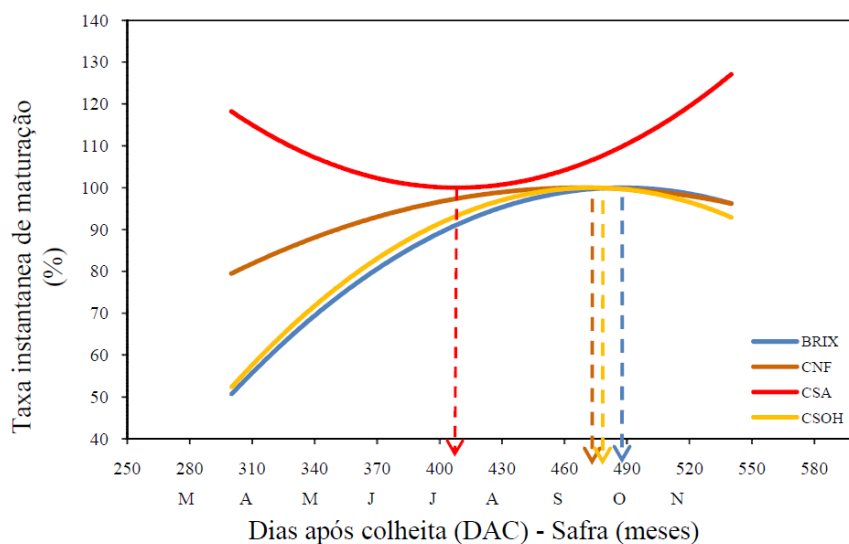


Figura 20 - Evolução temporal da taxa instantânea de maturação (acúmulo atual/ acúmulo máximo * 100) na planta inteira em cana-de-açúcar IAC 93-3046 ao longo do período de maturação

Nota-se ainda que dentro das frações morfológicas os pontos em que as diferentes estimativas predizem o acúmulo máximo de CS são aproximadamente coincidentes entre si (BRIX, CNF, CSOH), a exceção de CSA que teve um padrão de acúmulo mais antecipado em comparação com as outras estimativas da fração solúvel. Entre as frações morfológicas, a planta inteira acumulou: 83, 80, 66 e 70% (BRIX, CNF, CSA, CSOH respectivamente) do teor predito para a fração colmo.

3.3.3 Regressões simples: predição dos teores de CS

Os modelos de regressão simples desenvolvidos a partir de variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição do teor de CS nas frações colmo e planta inteira, são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Coeficientes das melhores regressões lineares e quadráticas das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição dos teores de CS em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração colmo

Variável <i>Y</i>	Variável <i>X</i>	Intercepto	Linear	Quadrático	R ²	RQMR [†]
<i>BRIX</i> (%)	<i>MS</i>	-31,3745	0,3150	-0,0005	0,75	2,05
	<i>IM</i>	6,3597	0,1751	-0,0006	0,66	2,38
	<i>FDN</i>	109,0163	-0,2953	0,0002	0,58	2,66
<i>CNF</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDN</i>	935,1068	-0,5845	-0,0006	0,97	8,41
	<i>MS</i>	-191,9378	4,6316	-0,0072	0,80	23,91
	<i>FDA</i>	1249,0225	-2,3993	NS	0,79	24,32
<i>CSA</i> (g kg ⁻¹)	<i>PB</i>	13280,5538	-1003,3092	19,5184	0,07	76,10
	<i>MM</i>	375,3652	0,4328	-0,0009	0,06	76,76
	<i>FDA</i>	-2237,3710	16,6450	-0,0261	0,05	77,06
<i>CSOH</i> (g kg ⁻¹)	<i>MS</i>	-455,3533	5,4124	-0,0060	0,80	53,38
	<i>FDA</i>	5036,5339	-23,6378	0,0289	0,79	55,09
	<i>FDN</i>	2702,4115	-6,6022	0,0042	0,79	55,30

[†]Raiz do quadrado médio do resíduo; NS = Não significativo pelo teste t (P<0,05)

Os modelos de regressão quadrática foram significativamente melhores (P<0,05) quando comparados com os modelos lineares para todas as relações avaliadas a exceção da predição do teor de CNF considerando a fração FDA que foi linear. Nota-se ainda que as melhores predições

de CS ocorreram para as concentrações de CNF e de CSOH entre as diversas estimativas de carboidratos solúveis, destacando-se o teor de FDN na equação.

Em relação ao teor de CS na fração planta inteira, as equações que continham o teor de FDA tiveram um comportamento linear (Tabela 25).

Tabela 25 - Coeficientes das melhores regressões lineares e quadráticas das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição dos teores de CS em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração planta inteira

Variável <i>Y</i>	Variável <i>X</i>	Intercepto	Linear	Quadrático	R ²	RQMR [†]
<i>BRIX</i> (%)	<i>IM</i>	7,0423	0,1137	-0,0003	0,62	2,16
	<i>PLM2</i>	-5,9273	2,0535	-0,0445	0,53	2,38
	<i>FDN</i>	48,5958	-0,0619	NS	0,47	2,53
<i>CNF</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDN</i>	859,8416	-0,4379	-0,0007	0,98	7,18
	<i>FDA</i>	1156,4305	-2,0801	NS	0,88	15,7
	<i>DIVMO</i>	-797,3371	3,0613	-0,0017	0,80	20,88
<i>CSA</i> (g kg ⁻¹)	<i>MM</i>	408,4478	-12,3358	0,2767	0,22	79,46
	<i>PB</i>	14088,5327	-972,2448	17,1054	0,19	80,98
	<i>DIVMO</i>	8881,1416	-30,0010	0,0261	0,17	81,72
<i>CSOH</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDN</i>	4507,4477	-12,2774	0,0087	0,80	43,42
	<i>FDA</i>	1864,4912	-4,1668	NS	0,73	50,45
	<i>PB</i>	10433,1749	-656,7824	10,5467	0,65	57,91

[†]Raiz do quadrado médio do resíduo; NS = Não significativo pelo teste t (P<0,05)

Como observado na fração colmo, as variáveis de CS que ajustaram melhor as regressões simples foram CNF, seguido de CSOH. Por outro lado, a predição do teor de CS como CSA nas duas frações anatômicas estudadas, não foram satisfatórias se considerados os critérios de R² e RQMR. A exceção da predição de BRIX a partir da variável NOS, as demais variáveis morfológicas da cultura não se mostraram relevantes na predição do teor de CS na cana-de-açúcar IAC 93-3046 colhida na maturidade quando comparadas com as variáveis bromatológicas.

3.3.4 Regressões simples: predição de MS e digestibilidade

Na Tabela 26 estão apresentados os coeficientes das regressões simples para a predição dos teores de MS e digestibilidade da fração colmo. Destaca-se a participação da fração fibrosa nas equações, seja considerada individualmente (ex. FDN, FDA) o como a relação FDN/CS (ex.

FDN/CSOH, FDN/CNF). O teor de CNF foi a variável mais importante na estimativa do teor de MS no colmo.

Tabela 26 - Coeficientes das melhores regressões lineares e quadráticas das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição dos teores de MS e digestibilidade (DIVMS, DIVMO) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração colmo

Variável <i>Y</i>	Variável <i>X</i>	Intercepto	Linear	Quadrático	R ²	RQMR [†]
<i>MS</i> (g kg ⁻¹)	<i>CNF</i>	574,1287	-2,2177	0,0031	0,86	13,73
	<i>FDN/CSOH</i>	416,6199	-222,8415	48,7125	0,85	15,83
	<i>FDN/CNF</i>	612,1129	-543,6373	165,2595	0,82	15,28
<i>DIVMS</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDA</i>	313,1627	3,7626	-0,0084	0,89	11,46
	<i>FDN</i>	1243,7177	-1,5722	-0,0008	0,82	14,72
	<i>FDN/CSOH</i>	776,3931	-124,1785	18,2070	0,74	19,77
<i>DIVMO</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDA</i>	78,4903	4,7765	-0,0092	0,81	11,30
	<i>FDN</i>	933,1358	-0,5380	NS	0,75	13,02
	<i>FDN/CNF</i>	863,6302	-265,6846	69,6354	0,71	14,06

[†]Raiz do quadrado médio do resíduo; NS = Não significativo pelo teste t (P<0,05)

Em relação à planta inteira, as regressões simples que melhor descreveram o teor de MS e a digestibilidade são apresentadas na Tabela 27. Em comparação com as equações descritas para a determinação de MS no colmo, os modelos gerados tiveram menor poder de predição (baixo R² e alto RQMR). No entanto, o acúmulo de matéria seca na planta inteira apresentou-se como resposta associada a variável peso seco do colmo (PCOL). As predições de digestibilidade da planta inteira estiveram associadas à fração fibrosa da planta, analogamente ao relatado para a fração colmo

Tabela 27 - Coeficientes das melhores regressões lineares e quadráticas das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição dos teores de MS e digestibilidade (DIVMS, DIVMO) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração planta inteira

Variável <i>Y</i>	Variável <i>X</i>	Intercepto	Linear	Quadrático	R ²	RQMR [†]
<i>MS</i> (g kg ⁻¹)	<i>PCOL</i>	195,1503	0,1539	NS	0,27	32,75
	<i>FDN/CSOH</i>	354,5157	-100,0306	22,9866	0,08	34,63
	<i>MM</i>	277,3347	-0,9970	NS	0,05	37,30
<i>DIVMS</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDA</i>	1188,2811	-1,6662	NS	0,88	13,06
	<i>FDN</i>	1903,2553	-3,7963	0,0026	0,83	15,38
	<i>FDN/CNF</i>	952,3632	-386,0209	86,4270	0,81	16,17
<i>DIVMO</i> (g kg ⁻¹)	<i>FDA</i>	381,5529	2,8660	-0,0063	0,86	14,40
	<i>FDN</i>	1110,1399	-0,9322	NS	0,84	15,82
	<i>FDN/CNF</i>	911,1461	-320,5196	62,7341	0,82	16,51

[†]Raiz do quadrado médio do resíduo; NS = Não significativo pelo teste t (P<0,05)

A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) tanto na fração colmo (quadrática) como na planta inteira (linear) comportou-se como função do acúmulo de fibra em detergente ácido (FDA) como representado na Figura 21. Ao aplicar a primeira derivada do modelo quadrático (A), tem-se que a maior DIVMS na fração colmo é atingida quando o teor de FDA é de 23,5 %. No entanto, os valores de FDA observados mais baixos estiveram ao redor de 28%, atingindo digestibilidades próximas de 70%.

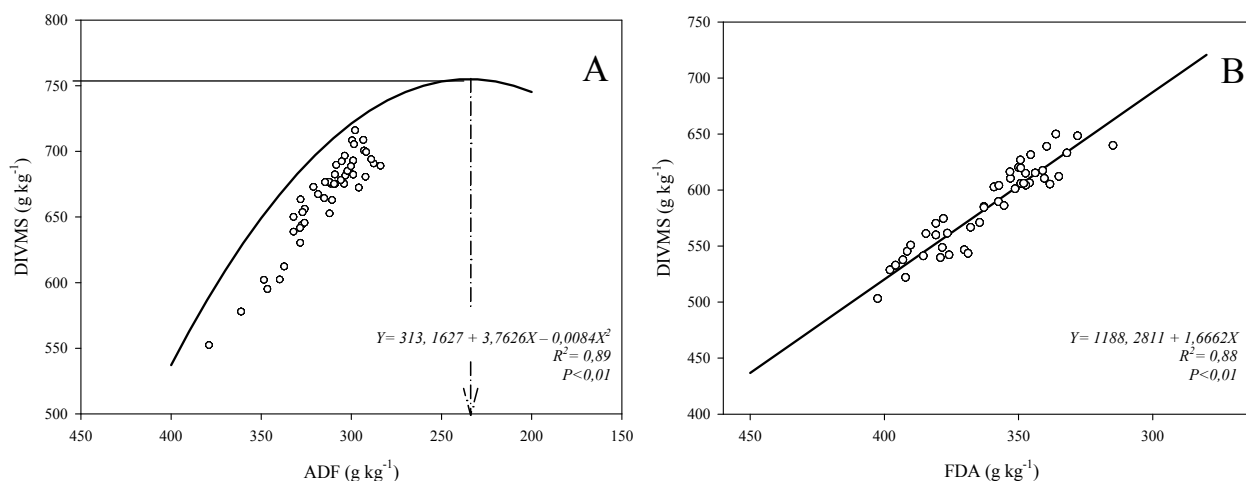


Figura 21 - Relação entre a digestibilidade (DIVMS) da fração colmo (A) e planta inteira (B) em função do teor de FDA em cana-de-açúcar IAC 93-3046

3.3.5 Regressões múltiplas: predição dos teores de CS

O desenvolvimento de equações com base na seleção de variáveis bromatológicas e morfológicas na fração colmo por meio de regressões do tipo *stepwise*, resultou em menores valores de RMSE quando comparadas com equações geradas a partir de componentes lineares ou quadráticos de uma variável isolada (Tabelas 28, 29, 30, 31). Exceção para as regressões de CSA que como observado nas regressões simples, os modelos tiveram baixo poder de predição (Tabelas 24 e 25). As equações referentes à predição do teor de CS na fração colmo são apresentadas na Tabela 28. Em comparação com as regressões simples, observou-se maior participação de variáveis morfológicas nas combinações de variáveis geradas nas regressões (NOS, PCOL, PLM2), sendo mais expressiva a variável NOS no teor de CSOH; melhorando consideravelmente o ajuste da regressão quando considerado o FDN isoladamente.

Tabela 28 - Regressões múltiplas do tipo *stepwise* das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição do teor de CS (% g kg⁻¹) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração colmo

Variáveis	Modelo de regressão	R ²	RQMR [†]
1	$BRIX = -7,3903 + 0,0973(MS)$	0,80	1,95
2	$BRIX = -5,6901 + 0,0801(MS) + 0,1468(NOS)$	0,82	1,85
3	$BRIX = -3,4492 + 0,0140(IM) + 0,0611(MS) + 0,2019(NOS)$	0,83	1,78
1	$CNF = 1108,4312 - 1,2521(FDN)$	0,98	9,33
2	$CNF = 1545,6881 - 1,5681(FDN) - 0,4245(DIVMS)$	0,99	6,08
3	$CNF = 1479,5638 - 1,5053(NDF) - 0,3826(DIVMS) + 0,4561(NOS)$	0,99	5,60
1	$CSA = 137,4265 - 0,3996(DIVMO)$	0,02	79,80
2	$CSA = -960,1480 + 0,7333(FDN) + 1,50151(DIVMO)$	0,06	78,30
3	$CSA = -1461,7592 + 17,5920(PB) + 0,6673(FDN) + 1,6246(DIVMO)$	0,09	77,26
1	$CSOH = 1541,0121 - 2,1665(FDN)$	0,80	51,23
2	$CSOH = 1230,7707 - 1,7396(FDN) + 6,1692(NOS)$	0,89	38,93
3	$CSOH = 799,8426 - 1,4167(FDN) + 0,4012(DIVMS) + 6,5208(NOS)$	0,89	38,40

[†]Raiz do quadrado médio do resíduo

O teor de MS (BRIX) e da FDN (CNF, CSOH), foram as variáveis mais importantes nas regressões múltiplas. Quando comparadas com as regressões simples apenas mudou a variável teor de MS como a principal variável de predição do teor de CSOH substituindo a fração FDA. A estimativa de CNF teve o melhor ajuste ao modelo matemático gerado, precisando apenas de duas variáveis para a predição. As regressões das estimativas de CS considerando extração com solvente (CSA e CSOH), no colmo consideraram o valor de digestibilidade da fração (DIVMO e DIVMS) quando considerados duas e três variáveis independentes, respectivamente. Na Tabela 29 são apresentadas as equações desenvolvidas para a predição de CS na fração planta inteira. Em relação às equações de CS da fração colmo, na planta inteira nota-se menor poder de predição das regressões (valores de R² e RQMR) a exceção do teor de CSA, embora não sejam significativas (P>0,05). O número de nós (NOS) foi a única variável morfológica considerada na abordagem *stepwise* para as estimativas de BRIX e CSOH.

Tabela 29 - Regressões múltiplas do tipo *stepwise* das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição do teor de CS (% g kg⁻¹) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração planta inteira

Variáveis	Modelo de regressão	R ²	RQMR [†]
1	$BRIX = 6,0007 + 0,4462(NOS)$	0,58	2,42
2	$BRIX = 4,5304 + 0,0270(IM) + 0,3769(NOS)$	0,75	1,85
3	$BRIX = 17,3009 + 0,0210(IM) - 0,0202(FDN) + 0,3350(NOS)$	0,78	1,77
1	$CNF = 1101,65571 - 1,24153(FDN)$	0,98	6,52
2	$CNF = 1002,8277 - 1,0663(MM) - 1,0333(FDN)$	1,00	1,81
3	$CNF = 1037,2611 - 1,6505(PB) - 0,9659(MM) - 1,0164(FDN)$	1,00	1,47
1	$CSA = 891,0062 - 21,1659(PB)$	0,06	89,11
2	$CSA = 983,5834 - 39,4218(PB) + 0,7296(FDN)$	0,10	87,41
3	$CSA = 796,9462 + 0,5433(MS) - 39,8280(PB) + 0,8329(FDN)$	0,15	85,42
1	$CSOH = 1660,3699 - 2,3248(FDN)$	0,77	46,42
2	$CSOH = 1403,1502 - 1,9875(FDN) + 4,0157(NOS)$	0,83	40,82
3	$CSOH = -274,5944 - 0,6509(FDN) + 1,5472(DIVMS) + 5,5510(NOS)$	0,88	3,37

[†] Raiz do quadrado médio do resíduo

3.3.6 Regressões múltiplas: predição de MS e digestibilidade

As equações de regressão múltipla para a predição da MS e da digestibilidade da fração colmo são apresentadas na Tabela 30. Além dos teores de FDA considerado nas regressões simples, o número de nós (NOS) teve relevância nas predições de DIVMS e DIVMO. Estas equações diferiram no terceiro parâmetro: IM para a primeira e PB para a segunda. No caso do acúmulo de MS, as regressões do tipo *stepwise*, ajustaram-se melhor aos dados somente quando consideradas 3 variáveis na predição. A diferença dos modelos para digestibilidade as variáveis dependentes diferiram completamente, assim: CNF, FDN/CSOH e FDN/CNF no caso das regressões simples (quadráticas) e FDN/BRIX, FDA, PB na equação contendo três variáveis.

Tabela 30 - Regressões múltiplas do tipo *stepwise* das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição do teor de MS e digestibilidade (g kg^{-1}) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração colmo

Variáveis	Modelo de regressão	R ²	RQMR [†]
1	$MS = 324,0946 - 24,7284(FDN/BRIX)$	0,81	17,63
2	$MS = 507,5331 - 0,6716(FDA) - 16,8635(FDN/BRIX)$	0,85	15,42
3	$MS = 857,1349 - 13,2301(PB) - 0,7659(FDA) - 11,2521(FDN/BRIX)$	0,90	1,25
1	$DIVMS = 1211,8584 - 1,7432(FDA)$	0,89	13,06
2	$DIVMS = 1299,2434 - 1,9543(FDA) - 1,2946(NOS)$	0,92	11,12
3	$DIVMS = 1233,8035 + 0,1035(IM) - 1,7813(FDA) - 1,2256(NOS)$	0,93	10,25
1	$DIVMO = 1055,7197 - 1,2313(FDA)$	0,85	10,92
2	$DIVMO = 1121,6047 - 1,3904(FDA) - 0,9761(NOS)$	0,87	9,62
3	$DIVMO = 1259,1200 - 5,5984(PB) - 1,3537(FDA) - 1,3028(NOS)$	0,91	8,78

† Raiz do quadrado médio do resíduo

Na tabela 31 são apresentadas as equações de regressão múltiplas para as predições de MS e digestibilidade da planta inteira. O acúmulo de MS foi somente explicado por variáveis morfológicas da planta (PCOL, PLM2, NOS), sendo que o peso seco do colmo (PCOL) também foi incluso na regressão linear simples mais significativa.

Tabela 31 - Regressões múltiplas do tipo *stepwise* das variáveis bromatológicas e morfológicas para a predição do teor de MS e digestibilidade (g kg^{-1}) em cana-de-açúcar IAC 93-3046 na fração planta inteira

Variáveis	Modelo de regressão	R ²	RQMR [†]
1	$MS = 203,1790 + 0,1305(PCOL)$	0,19	32,27
2	$MS = 14,7774 - 10,6198(PLM2) + 0,3204(PCOL)$	0,46	26,29
3	$MS = 16,1370 - 2,5092(NOS) + 11,2152(PLM2) + 0,4020(PCOL)$	0,60	22,60
1	$DIVMS = 1127,0738 - 1,5039(FDA)$	0,86	12,43
2	$DIVMS = 1232,2957 - 7,3940(PB) - 1,2292(FDA)$	0,89	10,94
3	$DIVMS = 1411,1449 - 12,7141(PB) + 1,06584(MM) - 1,3671(FDA)$	0,92	9,27
1	$DIVMO = 1185,3627 - 1,6545(FDA)$	0,81	16,29
2	$DIVMO = 1261,9065 - 1,8083(FDA) - 1,2463(NOS)$	0,85	14,60
3	$DIVMO = 1434,5596 - 10,2118(PB) - 1,4840(FDA) - 1,6913(NOS)$	0,89	1,25

† Raiz do quadrado médio do resíduo

O acréscimo na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da fração colmo é decorrente da redução do teor de fibra (FDA < 32%) e o aumento do número de nós (NOS > 20) como observado na superfície de resposta apresentada na Figura 22.

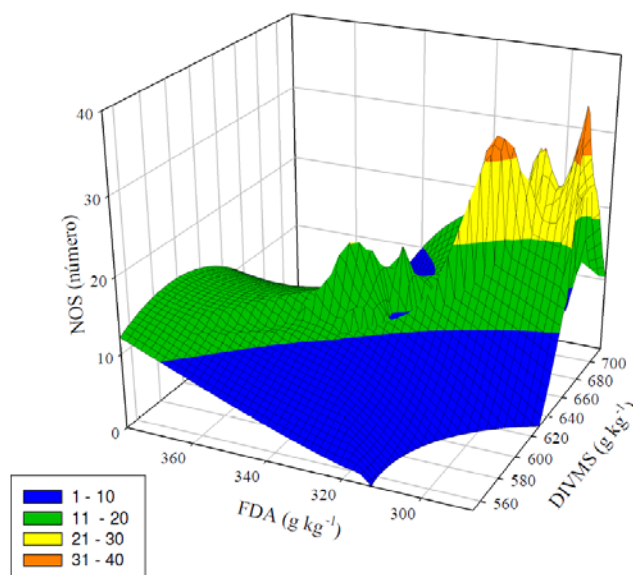


Figura 22 - Superfície de resposta da predição de digestibilidade (DIVMS) na fração colmo em função do teor de FDA e NOS em cana-de-açúcar IAC 93-3046 ao longo da maturidade da cultura. Modelo de regressão: $DIVMS = 129,92 - 1,95(FDA) - 0,13(NOS)$ ($P < 0,0001$), $R^2 = 0,92$

3.4 Discussão

A variedade IAC 93 3046, tem sido considerada de alta produtividade, rústica, responsiva e de ciclo médio ou tardio (IAC, 2010), sendo que o período de utilização industrial desta variedade nas condições ambientais do sudeste brasileiro vai de maio a outubro (AFCRC, 2011), que foi coincidente com o período experimental deste estudo, a exceção da última colheita realizada em novembro (540 dias após plantio).

No presente estudo, não houve diferenças por conta do efeito da adubação (química e orgânica) sob doses de 120 kg N ha^{-1} no plantio, à exceção das seguintes variáveis: folhas secas (FS), carboidratos solúveis em extrato aquoso (CSA) e minerais (MM) quando avaliadas na fração colmo. Salas et al., (1992) trabalhando com três níveis de adubação 80, 150 e $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, relataram que nem a composição química nem a DIVMS dos topos e de colmos das variedades, foram afetadas por conta do nível de adubação à exceção de um reduzido acréscimo percentual no teor de proteína bruta. Contudo, ainda no mesmo trabalho, foi observada redução da participação da fração topos em relação à planta inteira o que contribuiu para a diminuição do teor de MS nas plantas. Tradicionalmente o acréscimo na adubação nitrogenada na cultura de cana-de-açúcar têm sido associado ao aumento na taxa de desenvolvimento das folhas, cobertura e coloração verde da forragem (NICKELL, 1977).

De acordo com Orlando Filho (1983), a adubação nitrogenada influencia a qualidade dos colmos. Assim, na deficiência de N o teor de umidade da planta decresce, como conseqüência, a concentração de sacarose no colmo diminui e o teor de fibra aumenta. Por outro lado, o excesso de N encontra-se associado com aumento no comprimento dos colmos, levando à redução na espessura da parede celular e como conseqüência o acamamento e o atraso da maturação (CARNAÚBA, 1989). Apesar disso, Salgado (1999) reportou que a dinâmica das enzimas invertases acida e neutra, responsáveis pela maturação, não foi modificada com o aumento na adubação da cultura.

Anjos et al (2006) testaram o efeito de esterco de curral (30 ton ha^{-1}) e esterco de galinha ($3,5 \text{ ton ha}^{-1}$) em substituição do adubo químico $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ e $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ no plantio e 60 kg ha^{-1} de N de cobertura. Não encontraram diferença de produtividade em cana de primeiro corte (76 ton ha^{-1}) nem variação no teor de BRIX do caldo (18,71%). No presente estudo, a idade da planta foi o fator que mais influenciou na qualidade nutritiva da cana-de-açúcar, assim como descrito em estudos anteriores (RODRIGUES; PRIMAVESI; ESTEVES, 1997; SALAS et al

1992; GOODING, 1982). Além das dinâmicas temporais entre os constituintes químicos e morfológicos das plantas por conta da idade do talhão, nos estudos de variação nutricional de cultivares, é bem estabelecido o efeito de variedade no valor nutritivo das plantas sendo diferenciada a resposta entre cultivares precoces, médios e tardios. No Fernandes et al (2003), os cultivares intermediários tiveram vantagens no acúmulo de CS aos 18 meses após plantio em relação às variedades precoces.

As curvas de acúmulo de CS, especialmente sacarose, ao longo do tempo determinam a maturidade das variedades de cana de açúcar. De acordo com Lingle; Irvine (1994), a idade a maturidade é determinada pela idade do talhão quando atingido o pico da concentração da POL no caldo. Entre as frações de CS consideradas no presente trabalho, foi possível verificar três padrões de acúmulo (regressões quadráticas) na fração colmo ao longo da maturidade: a) BRIX e CSOH, b) CNF e c) CSA. Por outro lado, na planta inteira verificou-se a mesma tendência a exceção do teor de CSA, em que o comportamento da curva foi totalmente oposto, mas quase coincidente na determinação do máximo e mínimo das funções (variação 8 dias).

Os teores preditos de CS na planta inteira representaram em média: 82,22; 80,31; 66,37 e 70,09 % das predições na fração colmo: BRIX, CNF, CSA e CSOH respectivamente. Padrões das curvas quadráticas características de cada cultivar tem sido amplamente explorados em estudo de seleção de variedades industriais para precocidade no acúmulo de sacarose (POL) (WAGIH; ALA; MUSA, 2004). Embora o teor de POL não fosse avaliado no presente estudo, segundo Irvine (1983), os teores de BRIX e POL deveriam estar bem próximos durante a maturidade da cultura. Segundo o levantamento realizado no capítulo 1, a variedade IAC 93-3046 durante a safra de colheita no estado de São Paulo atinge a maturidade no mês de setembro, o que foi coincidente com os máximos da curva preditos para os teores de BRIX e CSOH. Esta variedade também foi a mais precoce em relação à média dos cultivares do IAC e a variedade IAC 86 – 2480 como apresentado na figura 3 (outubro e novembro, respectivamente). Isto corrobora o descrito nas curvas de Waigh; Ala; Musa (2004), no sentido da proximidade das medidas BRIX e POL, em relação aos teores e padrões das curvas de acúmulo de açúcares, próximo do pico de maturação da cana-de-açúcar.

A taxa instantânea de maturação descreve o comportamento do acúmulo da fração solúvel em relação ao máximo acúmulo predito pelo modelo de regressão (100 %) ao longo do ciclo da cultura. Nota-se que a predição do máximo acúmulo (maturidade) foi similar entre as frações

morfológicas da planta: colmo (Figura 20) e planta inteira (Figura 21), à exceção do teor de CNF que apresentou comportamento anacrônico. Importante ressaltar que em todos os casos as predições deste parâmetro para a planta inteira ocorreram anteriormente à fração colmo. A variação em dias entre as estimativas comparando a fração colmo e planta inteira foi a seguinte: BRIX (5), CNF (34), CSA (8), CSOH (6). Este fato confirma que entre as estimativas de CS, o teor de CNF encontra-se mais associado ao teor de fibra da planta (alta e negativamente correlacionado) como observado nas análises de componentes principais descritas no capítulo 2 e verificado nas equações de predição simples e múltiplas do presente capítulo. Mello et al (2006) mostraram que os valores de CNF oscilam entre 40,96 e 50,14 em cana de primeiro corte cultivadas sob irrigação conforme observado no presente trabalho, tanto na fração colmo como na planta inteira.

No estudo de Schogor (2008) avaliando métodos de colheita (manual, mecânico e mecânico seguido de rebaixamento manual) impostos em um talhão de cana IAC 86-2480 durante a fase de crescimento na região de Ribeirão Preto, SP, foi evidente o efeito do ambiente na expressão fenotípica da planta, já que o peso e comprimento dos colmos foi estagnado de maio até junho devido à seca. A partir de julho esse crescimento voltou a ocorrer decorrente do aumento das precipitações pluviométricas na área experimental. O teor de sacarose depende de fatores climáticos tais como baixas temperaturas ou estresse hídrico quando a planta já atingiu sua maturidade fisiológica, por tanto o efeito desses fatores provoca o repouso vegetativo da planta, que passa a acumular sacarose no caldo (CONAB 2008).

Ferreiro et al (1977) relataram que o teor de BRIX na planta inteira de cana-de-açúcar é uma resposta ao acúmulo de MS dessa fração que por sua vez é fortemente dependente da precipitação. Contrário a essa premissa, no presente estudo, as dinâmicas de acúmulo de CS na planta inteira foram mais dependentes dos teores de fibra (FDN, FDA) que por sua vez, tenham apresentado dependência da oferta de água para a planta.

Costa et al (2001), avaliando o ponto de colheita de plantas de milho para ensilagem determinaram que não existe correlação entre os teores de MS da planta e o conteúdo de açúcares solúveis no colmo (BRIX), por tanto, não foi confirmada nesta espécie a suposta interdependência fonte-dreno exercidas pelos açúcares e grãos respectivamente traduzidos pela evolução da MS na planta ao longo da maturidade da cultura.

A avaliação dos melhores modelos de regressão simples e múltipla no presente estudo foi realizada com base nos maiores valores de R^2 e os mais baixos valores de RQMR. Embora o R^2 indique o grau de variabilidade nas observações consideradas pelo modelo de regressão, este parâmetro pode ser inflacionado devido ao grande intervalo nos dados observados ou em decorrência do aumento no número de variáveis independentes considerado na equação (FICK; ONSTAD, 1988). Por outro lado, a RQMR é o desvio padrão das observações relacionadas à linha de regressão e fornece uma medida absoluta de ajuste do modelo, tendo as mesmas unidades da variável resposta (FICK; ONSTAD, 1988). As regressões múltiplas do tipo *stepwise* considerando 3 variáveis preditoras nas equações, tiveram mais baixo valor de RQMR quando comparadas com as regressões simples. Este procedimento estatístico seleciona as variáveis independentes mais correlacionadas à variável dependente, definindo sua ordem de importância.

Regressões simples geradas para a predição do teor de CS (BRIX, CNF, CSOH) na fração colmo, sugerem que o acúmulo de carboidratos solúveis encontra-se fortemente associado com o acúmulo de matéria seca. Por outro lado, as regressões múltiplas somente consideraram o acúmulo de MS como variável de predição do teor de BRIX nessa fração morfológica. Em relação as estimativas de carboidratos solúveis (CSA e CSOH), foi observada redução mais significativa desses teores no colmo quando comparado com a planta inteira. Uma possível explicação para isso poderia estar relacionada com o efeito exercido pela fração fibrosa da forragem associado à proporção de folhas das amostras.

Cruz et al. (2010) e Azevêdo et al. (2003), observaram que variedades de ciclo precoce foram inferiores em termos de valor nutritivo, quando comparadas com as variedades de ciclo de produção médio a tardio. Segundo Silva et al. (2008), as variedades que apresentaram maior produção de matéria natural por hectare, foram aquelas que também apresentaram elevada porcentagem de colmo. Azzini et al., (1986) apresentaram correlações positivas e altamente significativas entre a densidade básica na região média do colmo (g/cm^3) e os valores de CS (BRIX e POL). Ainda naquele estudo, se demonstrou a relevância dessas relações funcionais para a indústria açucareira, devido ao fato de se encontrar também associadas à concentração de sacarose na planta por conta do elevado peso específico dessa molécula em comparação aos demais componentes da fração solúvel do caldo. O índice de maturidade (IM) (CONSECANA, 2006), que é uma estimativa da alocação dos açúcares ao longo do colmo, somente teve

associação positiva com a predição do teor de BRIX no colmo e na planta inteira e, por tanto, explica exclusivamente as variações que aconteceram no teor de sólidos do caldo.

Tendo em vista os valores dos coeficientes R² (baixos) e RQMR (altos) gerados pelas regressões simples e múltiplas para a predição de CSA (colmo e planta inteira) e MS (planta inteira), os modelos matemáticos propostos não se ajustaram adequadamente. Como consequência foi observado baixo poder de predição da variável CSA o que pode significar que esta variável está sujeita provavelmente a outras fontes de variação não consideradas no presente estudo. Como suporte a essa afirmação, no capítulo 2 da presente dissertação foi observado que tanto a variável CSA como o teor de MS não participaram em nenhum dos três primeiros componentes de variância, da análise multivariada de componentes principais e, por tanto, não foram relevantes na explicação do valor nutritivo da variedade IAC 86 – 2480 (canavial de terceiro ano) colhida dos 150 as 365 dias após corte de uniformização.

De acordo com Cruz et al. (2010), os teores de CNF influenciaram positivamente os valores de NDT das variedades de cana-de-açúcar avaliadas. No presente trabalho, entre as estimativas da fração solúvel os CNF tiveram as melhores predições nos modelos matemáticos e foi evidenciada a relação inversa com os teores de fibra da forragem (FDN, FDA).

Considerando que, a fração colmo responde por mais de 80% do total de matéria seca na cana-de-açúcar madura (BANDA; VALDEZ, 1976), as equações de predição do acúmulo de MS para as frações colmo e planta inteira tiveram participação importante da relação FDN/CS, especialmente FDN/CSOH nos modelos de regressão simples (colmo e planta inteira) e FDN/BRIX na regressão múltipla para a fração colmo. A fração colmo apresentou menores teores totais de fibra (FDN) e maiores digestibilidades (DIVMS) quando comparada com a planta inteira, assim como descrito em trabalhos anteriores (RODRIGUES; PRIMAVESI; ESTEVES, 1997; THIAGO, 2009; CARVALHO et al., 2010), e conseqüentemente, menores relações FDN:CS entre todas as estimativas consideradas da fração solúvel. A fração colmo apesar de apresentar maior DIVMS quando comparada com as folhas, tem menor digestibilidade da fibra devido ao maior grau de lignificação evidenciado pelo teor de lignina em detergente ácido (LDA-FDN) (CARVALHO et al., 2010) . No presente trabalho a digestibilidade da cana-de-açúcar (DIVMS, DIVMO) foi definida principalmente pelo teor de FDA que apresentou tendência de queda quadrática no colmo e linear na planta inteira, respectivamente (Figura 17). Nesse sentido é válido afirmar que a qualidade da fração fibrosa fibra é fundamental no desempenho animal ao

considerar esta fonte de volumoso nas rações de ruminantes, o que está de acordo com o proposto por Carvalho et al., (2010) e verificado experimentalmente em ganho de peso (MORENO et al., 2010) e produção de leite (VILELA; FERREIRA; VERA., 2003).

O melhoramento genético clássico da cana-de-açúcar está mais direcionado para atender a demanda da indústria sucroalcooleira, tornando, assim, seu valor nutricional para alimentação de ruminantes é ainda pouco explorado (AZEVEDO et al., 2003). Por essa razão, várias características desejáveis na planta de cana-de-açúcar como volumoso foram obtidos em decorrência de interesses exclusivos da indústria (RODRIGUES et al., 2001.; CARVALHO, 1992.; PATE; COLEMAN, 1975).

Teixeira (2004), encontrou que entre as características agrônômicas que mais se correlacionam com digestibilidade da MS destacam-se: o teor de fibra, a altura da planta, e a porcentagem de colmos, sendo essa última incrementada nas variedades mediante programas de seleção. De acordo com Balsalobre et al., (1999), colmos mais altos tem maior susceptibilidade ao acamamento, o que é desvantajoso em termos da colheita da cultura, porém a altura do colmo tem correlação negativa com o seu diâmetro. Azevedo et al (2003), trabalhando com quinze variedades de cana-de-açúcar, colhidas aos 426, 487 e 549 dias após o plantio, obtiveram teores de FDA médios de 26,84%, 28,92% e 27,91%, respectivamente, os quais foram menores aos observados no presente estudo. Pate et al (2002), em estudo do valor nutricional de 66 variedades comerciais de cana-de-açúcar, plantadas no Sul da Flórida, observaram ampla variação na porcentagem da FDA (28,3% a 41,5%) e concluíram que, para se utilizar a cana-de-açúcar com propósito de alimentação animal, deve ser dada ênfase ao baixo conteúdo de fibra. Entre os constituintes da parede celular, Prada e Silva et al., (2000) estabeleceram o teor de FDA como a melhor variável preditora da degradabilidade efetiva da MS (DEGMS) da fração volumosa em híbridos de milho e definida pela equação: $DEGMS = 100,6077 - 1,4085 * FDA$ ($R^2=0,86$).

No estudo de Rodrigues; Primavesi; Esteves (1997), comparando o potencial forrageiro de várias variedades de cana-de-açúcar, concluíram que aquelas que apresentavam teores de FDN na planta inteira menores de 52%, porcentagem de colmos maior de 80% e relação FDN/ CS (avaliado como BRIX) menor o igual a 2,7 são desejáveis para propósitos de nutrição animal. Altas correlações de interesse em variedades forrageiras, têm sido reportadas em estudos com variedades industriais, 0,57 entre produtividade da cultura e fração fibrosa e -0,76 entre o teor de sacarose e a porcentagem de fibra (TAI et al., 1996).

Por outro lado, no estudo do Bonomo et al. (2009), a média do número de nós (NN) de 23 variedades industriais de cana-de-açúcar colhidas aos 16 meses após plantio foi de 24,25. Segundo os mesmos autores, essa característica morfológica tem sido relacionada com o peso total das plantas e, especificamente, com o peso de entrenós, podendo de certa maneira afetar a quantidade de sólidos solúveis totais das plantas. Em função das altas taxas de crescimento observadas nas gramíneas do tipo C4, o número de nós (NN) não deveria ser considerado isoladamente, devido a que o perfilhamento das plantas, taxas fotossintéticas e taxas de conversão de açúcares redutores a sacarose podem interferir na precocidade da maturação, e por conseqüência, no seu rendimento de matéria seca e valor nutritivo da fração colmo (MSIRI, 1993). Quando comparada com algumas gramíneas C4, o crescimento da cana-de-açúcar pode ser inclusive mais lento, contudo a alta produção de biomassa é devido ao maior período de crescimento e a alta taxa fotossintética, que se opõe ao acúmulo de metabólitos nos tecidos (NICKELL, 1977). A taxa de crescimento da planta tem sido associada principalmente a alongação do colmo.

Com o avanço da maturidade, o crescimento vegetativo é reduzido e a taxa de alongação dos nós diminui conforme aumentam os teores de açúcares e fibra, sendo que a produtividade da cultura esta mais associada ao número de colmos (IRVINE, 1983). No entanto, os estudos na literatura apontam que a característica mais importante da cana de alto valor nutritivo (digestibilidade) é ter baixa porcentagem de fibra na matéria seca (referencia). De acordo com a superfície de resposta apresentada na Figura 18, em relação a valor nutritivo, a DIVMS ótima da fração colmo (>65%) é atingida na combinação de baixos teores de FDA (<32%) e acima de 20 NN (nós). Isto indica de que a maior alongação do colmo tem se menor número de nós (NN), e por tanto, menor acúmulo de açúcares conferindo menor digestibilidade a forragem. Este resultado foi indiretamente confirmado por Teixeira (2004), substituindo a variável NN pelo comprimento do colmo (CCOL).

Quando consideradas três variáveis independentes, o teor de proteína bruta foi mais decisivo na predição do valor nutritivo da IAC 93-3046 em relação à percentagem de colmos da equação proposta por Teixeira (2004). As equações *stepwise* propostas por Teixeira (2004), ao considerar até três variáveis de predição, tiveram menor qualidade de ajuste quando comparadas com as equações do presente experimento (R^2) ao inserir cada: uma 0,70 vs 0,89 (FDA vs FDA),

duas: 0,75 vs 0,92 (FDA e NN vs FDA e comprimento de colmos (CCOL)) e três: 0,81 vs 0,93 (FDA, NN e PB vs FDA, CCOL e porcentagem de colmos respectivamente).

3.5 Conclusões

Entre as estimativas de CS sob previa extração da fração solúvel da forragem (CSA e CSOH), a determinação dos carboidratos solúveis em meio alcoólico, revelou-se mais adequada para a predição do acúmulo de carboidratos solúveis em cana-de-açúcar.

A predição da digestibilidade (DIVMS e DIVMO) esta associada ao teor de FDN e de FDA, assim como o número de nós (NN); por esse motivo, a estimativa de digestibilidade mostrou-se menos relacionada aos carboidratos solúveis como parâmetro de avaliação nutricional que a fração de componentes fibrosos da forragem.

Referências

AFCRC. **Características agronômicas das principais variedades de cana-de-açúcar da Região Centro – Sul**. Associação dos fornecedores de cana da região de Catanduva – Departamento Técnico. Disponível em: <<http://www.afcrc.com.br/downloads/Informativos/VARIEDADES%20ATUALIZADA.pdf>>. Acesso em: 9 mai. 2011.

AMARAL, R.C; BERNARDES, T.F. 2010. Como definir o ponto de colheita da cana-de-açúcar **Radares técnicos Milk Point**. Disponível em: < <http://www.milkpoint.com.br/artigos-tecnicos/conservacao-de-forragens/como-definir-o-ponto-de-colheita-da-canadeacucar-67828n.aspx>>. Acesso em: 5 mai. 2011.

ANJOS, I.A.; ANDRADE, L.A.B.; GARCIA, J.C.; FIGUEIREDO, P.A.M.; CARVALHO, G.J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência Agrotecnia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 59-63, jan./fev., 2007.

AZEVÊDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; CARNEIRO, P.C.S.; QUEIROZ, A.C.; BARBOSA, M.H.P.; FERNANDES, A.M.; RENNÓ, F.P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1431-1442, 2003a.

AZZINI, A.; ZULLO, M.A.T.; ARRUDA, M.C.Q.; BASTOS, C.R.; COSTA, A.A. Densidade básica do colmo e sua correlação com os valores de Brix e de Pol em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 45, p. 155-160, 1986.

BALSALOBRE, M.A.; FERNANDES, R.A.T.; SANTOS, P.M. Corte e transporte de cana-de-açúcar para consumo animal. In: SIMPOSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 7 – 26.

BANDA, M.; VALDEZ, R. E. Effect of stage of maturity on nutritive value of sugar cane. **Tropical Animal Production**, Edinburg, v.1, n. 1, p. 94-97, 1976.

BONOMO, P.; CARDOSO, C.M.M.; PEDREIRA, M.D.S. Potencial forrageiro de variedades de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 53-59, 2009.

CAMPOS, F.P.; NUSSIO, C.M.B.; NUSSIO, L.G. **Métodos de análise de alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 2004. 135p.

CARNAÚBA, B.A.A. **Eficiência de utilização e efeito residual da uréia - ¹⁵N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), em condições de campo**. 1989. 193p. (Dissertação de Mestrado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 1989.

CARVALHO, G.J. de. **Avaliação do potencial forrageiro e industrial de variedades de cana-de-açúcar (ciclo de ano) em diferentes épocas de corte**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras, 1992. 63p.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. 5 ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar. Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2006. 111p.

COSTA, R.S.; NUSSIO, L.G.; CARNEVALLI, R.A.; DUARTE, A.; SIMAS, J.M.C. Avaliação do teor de carboidratos solúveis em plantas de milho como parâmetro para a determinação do ponto de colheita para a ensilagem. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba. **Anais...**, 2001. p. 360-361.

COZZOLINO, D.; ACOSTA, Y.; GARCIA, J. Application of near infrared reflectancy spectroscopy (NIRS) to forage evaluation in Uruguay. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 19., 2001. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. 370p.

CRUZ, P.G.; FIGUEIREIDO, M.P.; PEREIRA, L.G.R.; BERGAMASCHI, K.B.; RODRIGUES, C.S.; SOUZA RECH, C.L. Fracionamento e cinética da fermentação ruminal *in vitro* dos carboidratos de cinco variedades de cana-de-açúcar. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11 n. 4, 2010, p. 784 – 793.

DILLEWIJN, C.V. **Botany of sugarcane**. Waltham, 1952. 371p.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, 1956, p. 350 - 356.

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; da FONSECA, D.M.; DETMANN, E.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, E.S.; VITTORI, A. Composição química - bromatológica de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 977-985, 2003.

FERREIRO, H.M. ; PRESTON, T.R. ; SUTHERLAND, T.M. Investigation of dietary limitations on sugar cane based diets. **Tropical Animal Production**, Edinburgh, v. 2, n. 1, p. 56-61, 1977.

FICK, G.; ONSTAD, D. Statistical Models for Predicting Alfalfa Herbage Quality from Morphological or Weather Data. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.1, p. 160-166, 1988.

GOODING, E.G.B. Effect of quality of sugar cane on its value as livestock feed. **Tropical Animal Production**, Edinburgh, v. 7, p. 72 - 91, 1982.

HALL, M.B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis**. Florida: University of Florida, 2000. 42p. (Bulletin, 339).

HINTZ, R.W.; ALBRECHT, K.A. Dry matter partitioning and forage nutritive value of soybean plant components. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 59–62, 1994.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. **IAC cultivares, 2010**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/Cultivares/Relatorios/Listagens/,2010>>. Acesso em: 17 fev. 2011

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. **Novas variedades de cana-de-açúcar-2007**. Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Cana/Variedades.asp>>. Acesso em: 12 jul. 2011.

INMAN BARBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71 – 84, 2002.

IRVINE, J.E. Sugarcane. In: POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS. **International Rice Research Institute**, Los Baños, Philippines, 1983. p. 361-382.

KALU, B.A.; FICK, G.W. Quantifying morphological stage of development of alfalfa for studies of herbage quality. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 267–271, 1981.

KUNG Jr, L. **Preparation of silage water extracts for chemical analyses**. Standard operating procedure – 001 2.03.96. ed. University of Delaware – Ruminant Nutrition Lab. – Worrilow 309. 1996.

LINGLE, S.E.; IRVINE, J.E. Sucrose synthase and natural ripening in sugarcane. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1279–1283, 1994.

LINGLE, S.E.; VIATOR, R.P.; JOHNSON, R.M.; TEW, T.L.; BOYKIN, D.L. Recurrent selection for sucrose content has altered growth and sugar accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 113, p. 306–311, 2009.

LIU, D.L.; BULL, T.A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 144, p. 181–211, 2001.

MELLO, S.Q.S.; FRANÇA, A.F.S.; LIMA, M.L.M.; et al. Parâmetros do valor nutritivo de nove variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, n. 4, p. 373-380, 2006.

MORENO, G.M.B.; SOBRINHO, A.G.S.; LEÃO, A.G.; LOUREIRO, C.M.B.; PEREZ, H.L.; ROSSI, R.C. Desempenho, digestibilidade e balanço de nitrogênio em cordeiros alimentados com silagem de milho ou cana-de-açúcar e dois níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 853-860, 2010.

MSIRI (Mauritius Sugar Industry Research Institute) **Annual Report of the Mauritius Sugar Industry Research Institute for 1992**. ReAduit, Mauritius: MSIRI, 1993.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th.ed. rev. Washington: National Academy of Science, 2001. 381p.

NICKELL, L.G. Sugarcane. In: ALVIM, P.; KOZLOWSKI, T. (Ed.). **Ecophysiology of Tropical Crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 89–110.

O'LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.68, p.97-111, 2000.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil. In: **Coleção Planalsucar**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ:IAA/Planalsucar, 1983. 368p.

PATE, F.M.; ALVAREZ, J.; PHILLIPS, J.D. **Sugarcane as cattle feed**: production and utilization. Gainesville: Department of Animal Science, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2002. p. 2-8. (Bulletin, 844).

PATE, F.W. ; COLEMAN, S.W. Evaluation of sugarcane varieties as cattle feed. Florida Agricultural Experimental Station, Belle Glade, **AREC**, Res. Rep., EV-1975-4.

RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; BATISTA, L.A.R. Qualidade de dezoito variedades de cana-de-açúcar como alimento para bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, A.A.; PRIMAVESI, O.; ESTEVES, S.N. Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1333 - 1338, 1997.

RUSSELL, J.R.; IRLBECK, N.A.; HALLAUER, A.R.; BUXTON, D.R. Nutritive value and ensiling characteristics of maize herbage as influenced by agronomic factors. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 38, p. 11-24, 1992.

SALAS, M.; AUMONT, G.; BIESSY, G.; MAGNIE, E. Effect of variety, stage of maturity and nitrate fertilization on nutritive values of sugar canes. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, p. 265-277, 1992.

SBRISSIA, A.F. **Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pasto de capim marandu sob lotação contínua**. 2004. 171p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.

SCHOGOR, A.L.B. **Avaliação agrônômica da cana-de-açúcar submetida a métodos de colheita para produção animal**. 2008. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2008.

SILVA, M.A.; JERONIMO, E.M.; LÚCIO, A.D. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.979-986, ago. 2008.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **SAS/STAT: user's guide, version 9.1**. Cary: 2006. 235 p.

TAI, P.Y.P.; POWELL, G.; PERDOMO, R.; EILAND, B.R. Changes in sucrose and fiber contents during sugarcane maturation. **Sugar Cane**, High Wycombe, v. 6, p. 19-23, 1996.

TEIXEIRA, C.B. **Determinantes da degradabilidade entre clones de cana-de-açúcar no rúmen de bovinos**. 2004. 72p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

TOLEDO FILHO, S.G. **Avaliação da dinâmica da população de microrganismos em plantas de cana-de-açúcar (IAC 93-3046)**. 2010. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2010.

VILELA, M.S.; FERREIRA, M.A.; VERA, A.S.C. Avaliação de diferentes suplementos para vacas mestiças em lactação alimentadas com cana-de-açúcar: Desempenho e Digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 3, p.768-777, 2003.

ZACARIAS, C.A.B. **Estimação de parâmetros genéticos e fenotípicos em clones de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) e suas implicações no melhoramento**. 1977. 82p Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1977.