

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA / FITOTECNIA

DESIRÉE MARIA ESMERALDINO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA CONVENCIONAL
E ORGÂNICO EM CANA-DE-AÇÚCAR**

FORTALEZA
2007

DESIRÉE MARIA ESMERALDINO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA CONVENCIONAL
E ORGÂNICO EM CANA-DE-AÇÚCAR.**

**Tese submetida à Coordenação do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia da Universidade
Federal do Ceará, como parte dos requisitos
exigidos para obtenção do grau de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.**

Orientador: Prof. Dr. Ervino Bleicher

**FORTALEZA
2007**

DESIRÉE MARIA ESMERALDINO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA
CONVENCIONAL E ORGÂNICO EM CANA-DE-AÇÚCAR.**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovada em 14/02/2007

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ervino Bleicher (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. João Licínio Nunes de Pinho (Co-orientador)
CENTEC – Instituto Centro de Ensino Tecnológico

Prof. Dr. Francisco José A. Fernandes Távora (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Márcio Cléber de Medeiros Corrêa (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Lindbergue Araújo Crisóstomo (Conselheiro)
EMBRAPA – Agroindústria Tropical

**FORTALEZA
2007**

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar os meus caminhos e pela excelente escolha de ter vindo para o Ceará; tudo valeu a pena.

Aos Professores Benbadis, Ervino, Fanuel, Ivaldo, Joaquim Enéas, Licínio, Márcio, Pitombeira, Tarcísio e Távora, por toda a atenção dedicada ao projeto da cana orgânica e pelas inestimáveis lições técnicas e de vida.

Ao Dr. Everardo Telles Campos, Dr. Paulo Campos Neto, Dr. Jota, Dr. Cunha, Dr. Wilde, ao Técnico Agrícola Cícero, Dr. Maurício e a todo o pessoal de apoio da Ypióca Fazenda Santa Elisa, Ypióca Messejana e Ypióca Paraipaba, sem os quais não teria sido possível instalar e conduzir o experimento de campo.

Aos Professores Sizuo Matsuoka (UFSCar) e Luiz Antonio de Bastos Andrade (UFLA), pela preciosa ajuda em todos os momentos.

À Sra. Simone Saraiva Nunes de Pinho pelo trabalho de revisão vernacular do trabalho.

Ao funcionário do Departamento de Fitotecnia Deocleciano, pela simpatia e presteza no atendimento.

À Dra. Elizita Maria Teófilo (UFC), pela doação das sementes de leguminosas.

Aos colegas de curso Enéas, Murilo, Xavier, Eduardo, Gleidson, Everton, Cláudia, Conceição, Patrícia, Maria e Aécio, pelo carinho e companheirismo nas horas de estudo.

Aos amigos que foram um presente em Fortaleza: Odete, Jô, Bebel, Zezinho, Lilith, Irapuã, Emília, David, Gleides, Antonio, Rita, Fernando, Tarcísio, Odete (Batoque), Patrícia, Rachel, Rafaela, Leonardo, Alessandro, Mariane, Magno, Jacqueline, Rosângela, Angélica, Sueli, Sérgio, Liége, Thiago, Diana e Érica, pelo apoio e carinho.

Ao Leonardo e à Valérie, pela acolhida em Piracicaba.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Chaves S/A Mineração e Indústria, na pessoa do Técnico Responsável Eng. Agrônomo Dr. José Maria Freire, pela doação do calcário utilizado na área experimental.

Ao Dauton, à Marli e ao pequeno Gustavo, pelo apoio e carinho em Santos.

Agradeço.

**Aos meus pais Rubem e Nahyr (*in memoriam*)
À Glória e a Neuma que me acompanharam e
incentivaram no início dessa estória...**

DEDICO.

“Fica e luta. Esta é a hora de provar a si mesmo do que você é capaz.”

Cenyra Pinto

RESUMO

Há várias formas de se cultivar o solo e a escolha de um determinado modelo vai depender dos fatores ambientais e dos objetivos da exploração. Para se avaliar a influência dos sistemas de exploração agrícola (SE) – orgânico (SO) e convencional (SC) – em cana-de-açúcar, foi conduzida, na Unidade Agroindustrial da Ypióca, localizada no município de Pindoretama-CE, uma pesquisa de campo utilizando-se as variedades (V) CB38-22 (CB), RB72454 (RB) e SP71-6949 (SP). Os tratamentos constaram da combinação de três V com três SE: orgânica acrescida do coquetel de sementes (OCS); orgânica acrescida do plantio de feijão-de-corda (cv. Epace 10) entre as linhas (OE10) e plantio convencional (SC). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. As avaliações agrônômica e industrial foram feitas em março de 2005, na primeira soca. Foram determinados os valores da área foliar (AF), do índice de área foliar (IAF) e do diâmetro (DC), número (NC), comprimento (CC) e produtividade de colmos (RC). Para a análise de Brix, POL e Pureza, foram colhidos dez colmos de cada parcela e extraído o caldo para análise em laboratório. Os SE diferiram estatisticamente entre si para as variáveis: AF, IAF e NC. Os maiores valores de AF e IAF foram obtidos nos SO (OCS e OE10). Já o maior NC foi obtido no tratamento OCS. Com relação às V, apenas as variáveis AF e IAF não diferiram estatisticamente. Não se observaram diferenças estatísticas para as interações entre V e SE nas diversas variáveis estudadas. Os melhores rendimentos de colmos foram obtidos nas V RB (41,1 t/ha) e SP (38,2 t/ha), contra 29,0 t/ha na CB. A variável DC foi a que mais contribuiu para o RC das V. Constatou-se, também, uma relação positiva entre CC e DC. Com relação às variáveis industriais, observaram-se diferenças estatísticas para POL e Pureza entre os SE e POL entre V. Já o Brix não sofreu quaisquer influências de V e SE. Assim como para as variáveis agrônômicas, também não se verificaram interações estatisticamente significativas entre SE e V para as industriais. O SC apresentou o maior POL (14,21%) e, entre V, o maior valor de POL foi obtido na RB. Os maiores valores de Pureza, 71, 52 e 69,14%, foram obtidos nos sistemas SC e OCS, respectivamente.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., agricultura orgânica, componentes de produção, rendimentos agrícola e industrial.

ABSTRACT

There are some forms of cultivating the soil and the choice of a determined form depends on the environment conditions and on the aim of the exploration. To evaluate the influence of the agricultural exploration systems (EA) – organic systems (OS) e conventional systems (CS) – in sugar cane crop, it was lead, in the Ypióca Agro-industry, in the city of Pindoretama - CE, a field research by using varieties (V) CB38-22 (CB), RB72454 (RB) and SP71-6949 (SP). The treatments consisted of the combination of three V with three EA: organic increased of seed cocktail (OSC); organic increased of the cowpea plantation (cv. Epace 10) between the lines (OE10) and conventional plantation (CS). The experimental delineation was completely randomized with four repetitions. Agronomic and industrial evaluations were made in March of 2005, in the first beat. Foliar area values (FA), foliar area index (FAI) and diameter (DC), number (NC), length (CC), and productivity of stalks (RC) were determined. For Brix, POL, and Purity analysis, ten stalks of each parcel were harvested and the broth extracted to be examined in laboratory. EA differed statistically one from another for the variables: AF, IAF and NC. The biggest FA and FAI values were gotten from OS (OSC e OE10). The biggest NC was gotten in the treatment OSC. Relating to V, only variables FA and FAI did not differ statistically. Statistical differences were not observed for interaction between V and EA. The best stalk profits were gotten from V RB (41, t/ha) and SP (38,2 t/ha), against 29,0 t/ha in the CB. The variable DC was the one that most contributed to the RC of the V. It was also evidenced a positive relation between CC and DC. Concerning the industrial variable, statistical differences for POL and purity between EA and POL between V were observed. On the other hand, the Brix did not suffer any influences from V and EA. For the agronomic variables it were not verified any statistically significant interactions between EA and V, as well as for the industrial variables. The CS presented the biggest POL (14,21%) and, between V, the highest value of POL was gotten in the RB. The highest values of Purity, 71, 52 and 69, 14%, were gotten in systems CS and SCO, respectively.

Keywords: *Saccharum spp*, organic agriculture, *Vigna unguiculata*.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Croqui de campo sistema de exploração agrícola I (Orgânico + coquetel de sementes).....	38
FIGURA 2 - Croqui de campo sistema de exploração agrícola II (Orgânico + feijão-de-corda cv EPACE 10).....	39
FIGURA 3 - Croqui de campo sistema de exploração agrícola III (Convencional)....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Características granulométricas do solo das áreas experimentais 1, 2, 3 nas camadas 0-20, 20-40, 40-60 cm de profundidade. Pindoretama – CE, 2002.....	43
TABELA 2 -	Resultados da análise de fertilidade do solo da área experimental 1, 2, 3 nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm de profundidade. Pindoretama – CE , 2002.....	43
TABELA 3 -	Análise de variância e coeficiente de variação para as variáveis da área foliar (m ²), índice área foliar (IAF), diâmetro de colmos (cm), número de colmos (m linear), comprimento de colmos (m) e a produtividade dos colmos (t/ha), em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	44
TABELA 4 -	Valores médios de área foliar (m ²) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	45
TABELA 5 -	Valores médios de índice de área foliar (IAF) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	46
TABELA 6 -	Valores médios de número de colmos (m linear) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	48
TABELA 7 -	Valores médios relativos ao diâmetro de colmos (cm) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	50
TABELA 8 -	Valores médios relativos ao comprimento de colmos (m) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	51
TABELA 9 -	Valores médios relativos à produtividade de colmos (t/ha) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	52
TABELA 10 -	Análise de variância e coeficiente de variação para Brix (%), POL (%) e pureza (%) em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	53
TABELA 11 -	Valores médios relativos ao Brix (%) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	54
TABELA 12 -	Valores médios relativos ao POL (%) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.	55
TABELA 13 -	Valores médios relativos a Pureza (%) obtidos em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.....	57

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	6
1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Importância da cultura.....	9
2.2 Clima.....	10
2.3 Solo.....	14
2.4 Nutrição mineral.....	14
2.5 Fenologia e Acumulação de Matéria Seca.....	18
2.6 Variedades.....	22
2.7 Variáveis tecnológicas.....	24
2.7.1 POL (%).....	24
2.7.2 Brix.....	25
2.7.3 Pureza.....	26
2.8 Sistemas de Exploração Agrícola.....	27
2.8.1 Agricultura Convencional.....	27
2.8.2 Agricultura Orgânica.....	28
2.8.3 Agricultura Orgânica – biológica.....	29
2.8.4 Agricultura Biodinâmica.....	30
2.8.5 Agricultura Natural.....	31
2.8.6 Permacultura.....	32
2.9 Adubação verde.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 Materiais vegetais utilizados.....	36
3.1.1 Variedades de cana-de-açúcar.....	36
3.1.2 Espécies vegetais constantes do coquetel.....	37
3.2 Delineamento experimental, Tratamentos, Área experimental.....	37
3.3 Sistemas de exploração agrícola.....	41

3.3.1 Sistema I (Orgânica + Coquetel de sementes)	41
3.3.2 Sistema II (Orgânica + Feijão-de-corda, cultivar EPACE 10)	41
3.3.3 Sistema III (Convencional).....	42
3.4 Variáveis avaliadas.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1 Avaliações agronômicas.....	44
4.1.1 Área Foliar e Índice de Área Foliar	44
4.1.2 Número, Diâmetro e Comprimento de colmos.....	48
4.1.3 Produtividade de colmos.....	51
4.2 Variáveis industriais.....	53
4.2.1 Brix.....	54
4.2.2 POL.....	54
4.2.3 Pureza.....	56
5 CONCLUSÕES.....	58
5.1 Variáveis Agronômicas.....	58
5.2 Variáveis Industriais.....	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS.....	72

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de quase cinco séculos de exploração, a cana-de-açúcar desempenhou sucessivos papéis na economia brasileira: fortaleceu o período colonial e, baseado no trabalho escravo, sustentou o Império. Deu origem a indústrias e destacou a nação como exportadora de açúcar; alavancou o desenvolvimento de áreas do Nordeste brasileiro e, mais tarde, também do Centro-Sul. Ainda, forneceu uma fonte alternativa ao petróleo na geração de energia. Foi nesse contexto que a cana-de-açúcar se estabeleceu no Brasil (PIMENTA; SPADOTTO, 1999).

Atualmente, a área plantada com cana-de-açúcar no Brasil é de seis milhões, cento e oitenta e cinco mil e seiscentos e oitenta e um hectares, distribuídos em todo o território nacional (IBGE, 2006). A produção na safra 2005/2006 chegou a 436,8 milhões de toneladas. Desse total, 394,4 milhões de toneladas foram destinados à indústria sucroalcooleira: 216 milhões de toneladas para a fabricação de 26,7 milhões de toneladas de açúcar, 178,4 milhões de toneladas para a produção de 17 bilhões de litros de álcool (9,1 bilhões de litros de álcool anidro e 7,75 bilhões de álcool hidratado) e os outros 42,4 milhões de toneladas para o fabrico de aguardente, rapadura e açúcar mascavo (BRASIL, 2006).

A cultura da cana-de-açúcar desempenha papel importante no contexto agrícola do Ceará, por constituir matéria-prima para a produção de rapadura e aguardente, e por empregar durante quase o ano todo expressiva quantidade de mão-de-obra não qualificada. Ademais, o Ceará possui condições favoráveis à exploração da cultura.

Dada a diversidade agroecológica do território nacional e a variabilidade socioeconômica do País, a agricultura brasileira é uma realidade heterogênea e complexa em seus sistemas e suas estruturas de produção. De uma forma sintética, poderiam ser citados dois extremos de sistemas de produção. De um lado estão os sistemas agrícolas mais tradicionais, que consomem muitos recursos naturais (desmatamento, perda de solos, redução da fertilidade natural do solo, erosão genética etc.), sendo freqüentes em Rondônia, Acre, Pará e Mato Grosso, por exemplo, onde a fronteira agrícola ainda continua em expansão. No outro extremo, com inúmeras combinações intermediárias, estão os sistemas de produção altamente tecnificados, que consomem relativamente menos recursos naturais no local, contudo introduzem no meio ambiente novos elementos e produtos supostamente causadores de desequilíbrios (inseticidas, pesticidas, fertilizantes, sais etc.). Como exemplo, pode-se citar a citricultura, a cerealicultura, a cana-de-açúcar, o algodão, a fruticultura irrigada, entre outros

cultivos em São Paulo e em outras regiões do País, onde a fronteira agrícola não mais se expande, mas os processos de produção continuam a se intensificar.

Os sistemas mais tradicionais, por razões socioeconômicas, evoluem pouco ou lentamente, mantendo de forma crônica e constante seu impacto ambiental. Os sistemas de produção mais intensificados, em geral, adotam mais rapidamente novas tecnologias e novos procedimentos, levando a uma redução progressiva de seu impacto ecológico e/ou a novos impactos. Convenientemente orientados, esses sistemas podem concorrer para a melhoria da qualidade ambiental, como se verifica hoje em países desenvolvidos e em algumas regiões do País. Ainda assim, cada sistema de produção, mesmo intensificado, possui suas particularidades. Portanto, não se pode padronizar um modelo de avaliação do impacto ambiental para culturas distintas como a da cana, do café, da soja, de pastagens ou da citricultura, pois cada tipo de uso da terra – associado a um modelo de exploração – gera um impacto particular.

Hoje, no mundo todo, cresce a conscientização da preservação ambiental. Países e empresas aplicam milhões de dólares na tentativa de resolver os problemas de poluição em todos os níveis. Na década de 80, impulsionada por um forte movimento ecológico, a agricultura natural ou orgânica ganhou mais força, e a demanda por produtos livres de agroquímicos foi se tornando superior à oferta. Pequenas hortas e pomares desses produtos, que abasteciam a vizinhança, passaram a se mostrar progressivamente insuficientes para atender a um mercado em expansão (AGRIANUAL, 2000). Os produtos com essas características são denominados – em muitos países e no Brasil, em particular – produtos orgânicos.

Nessa área dos orgânicos há poucas informações oriundas da investigação científica, com dados concretos, capazes de transformar a atual realidade agrária. O debate dos orgânicos não foi acompanhado por esforços analíticos continuados, que analisassem as diferentes facetas desse tipo de agricultura. Os principais trabalhos realizados sobre a agricultura ficaram restritos aos processos econômico–produtivos, próprios dos estabelecimentos agrícolas e da dinâmica mais geral da agricultura fundamentada na Revolução Verde (GLIESSMANN, 2001).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência dos sistemas de produção agrícola – convencional e orgânico – sobre algumas variáveis agrônômicas e industriais da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da Cultura

A cana-de-açúcar teve origem na Ásia e é cultivada numa ampla faixa de latitudes, desde aproximadamente 35° N a 30° S, e em altitudes que variam do nível do mar até mil metros (Doorembos et al. 1979; Magalhães (1987). Atualmente ela é cultivada em 79 países, numa área de cerca de 12 milhões de hectares).

A importância da cana-de-açúcar pode ser atribuída à sua elevada capacidade de adaptação aos mais diversos ambientes edafoclimáticos e, principalmente, à sua múltipla utilização. Dentre as diversas formas de emprego, ela pode ser usada *in natura*, como forragem para a alimentação animal ou humana, ou como matéria-prima para a fabricação de alimentos, fármacos, bebidas alcoólicas e combustíveis. Com relação a esse último item, a sua importância vem se tornando crescente em todo o mundo em decorrência da constante demanda por fontes alternativas de energia, e pela possibilidade de redução da oferta, da elevação dos custos de extração e de processamento e, até mesmo, do esgotamento de recursos naturais não-renováveis como o petróleo, o carvão mineral etc. Associada a essa exigência de novas fontes de energia para suprir a demanda está a necessidade de se produzir combustíveis que tragam menores transtornos ao meio ambiente. Esses fatores têm estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias alternativas para a composição de um novo modelo de matriz energética. Nesse contexto, a conversão da biomassa da cana-de-açúcar em vetor energético (etanol) tem-se mostrado uma alternativa importante para a substituição de combustíveis não-renováveis como o petróleo (VASCONCELLOS et al., 1998).

A cana-de-açúcar está intrinsecamente ligada à socioeconomia brasileira, já que foi a primeira lavoura a ser introduzida e cultivada no País. Sob o comando de Martim Afonso de Souza, foram instalados os primeiros engenhos de açúcar no Brasil, que tinham como objetivos: povoar o território nacional, expulsar os invasores, e iniciar o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil (BEZERRA, 1995). Assim, a base da economia colonial era o engenho de açúcar. O senhor de engenho era um fazendeiro proprietário da unidade de produção de açúcar. As plantações ocorriam no sistema de “plantation”, ou seja, eram grandes fazendas produtoras de um único produto, visando a venda para o mercado europeu, utilizando mão-de-obra escrava.

Atualmente a área ocupada com a cultura no País é de 7,4 milhões hectares, com uma produção estimada em 491,5 milhões de toneladas (IBGE, 2007). A Região Sudeste, com

328,6 milhões de t, contribui com 67% da produção nacional de cana-de-açúcar, enquanto o estado de São Paulo produz 57% da cana-de-açúcar brasileira.

Há países que avaliam o rendimento da cana pela massa de colmos produzida por unidade de área, que gira em torno de 60 t/ha na média mundial; há outros que o avaliam pela quantidade de sacarose obtida por unidade de área, sendo que os colmos possuem em média 7 a 13% de sacarose e 11 a 16% de fibra (MAGALHÃES, 1987).

2.2 Clima

Por ser de origem tropical, a cana-de-açúcar desenvolve-se bem em ambientes quentes e ensolarados. A produtividade da cultura é regida por diversos fatores intrínsecos à variedade (aspectos genéticos), bem como por fatores do clima, do solo e das práticas de manejo a ela aplicados, já que todos interagem entre si.

O clima é o fator que mais influencia no rendimento da cultura, com destaque para as variáveis climáticas: temperatura, luz e umidade relativa do ar (ALEXANDER, 1973).

As exigências climáticas da lavoura canavieira podem diferir bastante segundo a finalidade da matéria-prima: açúcar, aguardente ou forragem. Normalmente, as lavouras com a finalidade de extração de açúcar são mais exigentes em clima (BARBIERI et al; 1982).

Como há necessidade de alta produção de sacarose, a planta precisa encontrar condições de temperatura e umidade adequadas para o seu pleno desenvolvimento na fase vegetativa e, em seguida, uma certa restrição hídrica e/ou térmica para forçar o repouso e enriquecimento em sacarose na época do corte. Assim, o ambiente ideal é aquele em que a irrigação ou a precipitação é bem distribuída durante o período de crescimento da planta, seguido de um período relativamente seco antes da colheita, com bastante luminosidade durante toda a estação, pois, segundo os mesmos autores, há correlação entre a incidência luminosa e a produção de sacarose.

Certas regiões possuem clima ideal para a cultura, sem quaisquer restrições, ao passo que outras apresentam algumas restrições térmicas e/ou hídricas moderadas, que permitem a produção econômica da cultura, sem a necessidade da utilização de recursos e técnicas especiais (BARBIERI et al., 1982). Entretanto, há aquelas em que as restrições são limitantes e o cultivo só se torna economicamente viável com o emprego de variedades adaptadas, de técnicas para suprir as deficiências hídricas e os efeitos do frio. Os autores acrescentam que a cana é cultivada em quase todos os estados do Brasil, mas as grandes zonas canavieiras restringem-se principalmente à área costeira, entre as latitudes 8° e 23° S. As temperaturas

médias anuais são de 20° C no Centro-Sul e 26° C no Norte-Nordeste. As precipitações pluviiais médias anuais são de 1.250 a 1.750 mm no Centro-Sul, de 750 a 1.250 mm no Nordeste, e de 1.750 a 2.500 mm no Extremo Norte.

Magalhães (1987) cita que a temperatura é, provavelmente, o fator ambiental de maior significância para o desempenho da cana. Temperaturas elevadas – em geral – são bem toleradas pela cultura, desde que haja irrigação ou umidade no solo. A temperatura é um importante fator climático na formação do perfilho. Com o aumento da temperatura, o perfilhamento aumenta até que o máximo é atingido ao redor de 30° C (DILLEWIJN, 1960). Nas temperaturas inferiores a 21° C, a cultura sofre diminuição na taxa de alongamento dos colmos e elevação no acúmulo de sacarose. A temperatura de crescimento máximo encontra-se entre 30° e 34° C. Abaixo de 25° C e acima de 38° C, o crescimento é muito lento (FAUCONIER et al., 1975). Nas várias fases fenológicas, a temperatura assume grande importância. Assim, para a germinação, a temperatura ótima é de 32° C e a basal de 21° C. O florescimento da cana está diretamente ligado a fatores genéticos e ambientais, tais como temperatura, comprimento do dia, e umidade do solo. Dependendo da variedade, quando ocorrem temperaturas noturnas acima de 18° C, baixa umidade e comprimento do dia próximo de 12 horas, o florescimento é estimulado (CASAGRANDE, 1991). A temperatura ótima para o brotamento das mudas varia de 32° a 38° C (DOOREMBOS et al., 1979). Para um ótimo crescimento, o ambiente deve apresentar médias de temperatura diurna entre 22° e 30° C. Abaixo de 20° C, reduz-se a taxa de crescimento. Todavia, para a maturação e colheita faz-se necessária a redução da temperatura para 10° a 20° C. Com isso, ocorre diminuição na taxa de crescimento e maior acúmulo de sacarose, produto mais nobre da cana e objetivo da indústria sucro-alcooleira.

A luz solar constitui a fonte de energia para a conversão fotoquímica do CO₂ em carbono orgânico. A luz pode exercer seus efeitos de dois modos: pela sua intensidade e duração (comprimento do dia – fotoperiodismo). O comprimento do dia representa um importante papel no perfilhamento da cana. Experimentos no Hawai (Estados Unidos) e em Formosa (China) têm demonstrado que o encurtamento da duração da exposição diária à luz resulta no decréscimo da formação de perfilhos. Esse fato é de particular importância em regiões subtropicais, que são caracterizadas por longos dias no verão, dias curtos no outono e na primavera, e dias muito curtos no inverno (DILLEWIJN, 1960). Já o efeito da intensidade luminosa está associado com a atividade das substâncias reguladoras de crescimento. Essas substâncias são produzidas no ápice da planta e fluem, num sentido descendente, em fluxo contínuo. Na cana-de-açúcar, esse efeito é duplo: promove a elongação do colmo e, ao mesmo

tempo, previne o desenvolvimento das gemas laterais. Sob o efeito de alta intensidade luminosa, o fluxo descendente das substâncias reguladoras de crescimento diminui. Conseqüentemente, a taxa de alongação do colmo é reduzida e o grau de inibição das gemas diminui, resultando na produção de perfilhos. Já quando a intensidade luminosa é reduzida o reverso ocorre, ou seja, o fluxo descendente das substâncias reguladoras de crescimento aumenta, resultando na aceleração da alongação do colmo e no aumento da inibição das gemas, prevenindo a produção de perfilhos (DILLEWIJN, 1960).

O tamanho dos internódios da cana-de-açúcar, em geral, aumenta com o comprimento do dia até um máximo, para algumas variedades, de 16 a 18 horas. Após esse período, o crescimento é reduzido (BARBIERI et al., 1982). Por ser espécie de metabolismo em C₄, a cana está entre as espécies de maior eficiência fotossintética. Assim, até os limites da cultura, quanto maior for a intensidade luminosa maior será a fotossíntese e, por conseqüência, o crescimento.

Sabe-se que menos de um por cento da água absorvida pelas plantas é utilizado no seu processo fotoquímico. Também, os déficits internos de água das plantas, que envolvem porcentagens muito maiores, afetam a fotossíntese por meios indiretos. Esses efeitos são normalmente associados com o fechamento dos estômatos, a hidratação reduzida do protoplasma do clorênquima, e a resistência na difusão de CO₂ entre a atmosfera e os cloroplastos. Somando-se a esses fatores, há ainda a água utilizada para manter os processos de translocação, responsáveis pelo transporte de solutos pelos tecidos condutores (ALEXANDER, 1973).

A retirada da água pelo sistema radicular da planta pressupõe que no equilíbrio hídrico do sistema solo-raiz reside um dos problemas fundamentais da agricultura. A água em excesso no solo altera processos químicos e biológicos, limitando a quantidade de oxigênio e acelerando a formação de compostos tóxicos à raiz. Já os efeitos do estresse hídrico nas plantas incluem, entre outros fatores, as reduções nas taxas de transpiração e de assimilação de CO₂, a redução do tamanho das células, a redução do potencial hídrico da planta, a taxa de crescimento e a abertura estomática (HSIAO, 1973).

Barbieri et al. (1982) citam que a cana requer boa quantidade de umidade no solo somente no período de crescimento, uma vez que a água tem papel fundamental na translocação e na pressão de crescimento e de turgescência. No período de maturação, porém, o ideal é que haja a redução da água disponível, não drasticamente, mas o suficiente para reduzir o crescimento e induzir a maior concentração de açúcar nos colmos. Para Andrade (2001), nas fases de brotação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, a cultura é bem

exigente em água (período de chuvas, sendo ideais as regiões cuja precipitação anual esteja na faixa de 1.000 a 3.000 mm/ano).

Além de sua interferência no florescimento, as relações hídricas desempenham papel importante na alongação dos perfilhos e na altura final dos colmos de cana-de-açúcar (CHANG et al., 1968; GASCHO et al., 1983). Os autores acrescentam que – em condições de estresse hídrico – os tecidos de alongamento e meristemáticos, encontrados em maior grau nos internódios em expansão, são os mais severamente afetados. A redução desses tecidos pode atingir de 30 a 50% próximos ao ponto de murchamento permanente (HARTT et al., 1967). A disponibilidade de água também afeta a taxa de fotossíntese.

Os períodos de déficit hídrico podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana-de-açúcar varia muito em função da interação entre a época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura (SHAW; INNES, 1965).

Dillewijn (1960) observou serem conhecidos os efeitos benéficos proporcionados por um adequado suprimento de água no início do crescimento e perfilhamento da cana.

Rosenfeld (1984), estudando o período crítico de deficiência hídrica em cana planta, concluiu que o início do estágio de máximo desenvolvimento da cana planta foi o período mais sensível ao déficit hídrico. Para a cana plantada entre fevereiro e junho, o período mais crítico foi do quarto ao oitavo mês de idade. Para as plantadas em outubro, o período mais crítico foi do oitavo ao décimo primeiro mês. As maiores reduções de produção foram provocadas por períodos secos durante o verão em canas com idade de quatro a oito meses. O período crítico de deficiência hídrica para o crescimento da cana semeada foi do quarto ao oitavo mês de idade.

A redução de produção de açúcar na cana com deficiência hídrica pode ser resultante do alto conteúdo de fibra, em decorrência da restrição no comprimento dos entrenós, da maior transpiração, e do crescimento atrofiado dos colmos (NAQVI et al., 1973).

Naqvi et al. (1973) observaram que o caldo de colmos que sofreram um período de seca prolongado apresentou menor conteúdo de sacarose e maior teor de Brix, conseqüentemente menor pureza, além da dificuldade de extração e processamento.

Doorembos et al. (1979) citam que durante a safra, ou até dois meses antes da época de maturação, a produção de sacarose é inversamente proporcional à quantidade de chuva que ocorreu na região. A disponibilidade da água é evidenciada por Ometto (1980). O autor verificou que folhas de cana supridas com água sintetizam dez vezes mais sacarose que as desprovidas de água e que a atividade fotossintética não cessa no ponto de murchamento ou abaixo dele, mas permanece numa faixa extremamente baixa. Assis et al. (2004),

trabalhando com variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação e níveis de adubação, verificaram que os diversos níveis de adubação não influenciaram nos rendimentos industriais da cultura (POL, Brix). Por outro lado, a cultura respondeu positivamente à irrigação, segundo os autores. Basile Filho et al. (1993) obtiveram maiores rendimentos em número e produtividade de colmos quando utilizaram espaçamentos mais adensados, com 1,0 metro entre linhas, quando comparados aos espaçamentos tradicionais utilizados.

2.3 Solo

O solo também é um dos fatores que mais diretamente influenciam no crescimento da cana-de-açúcar, constituindo o substrato aonde as plantas vão se desenvolver e dele retirar os nutrientes de que necessitam (ORLANDO FILHO, 1983). Todavia, por ser uma planta rústica, a cana desenvolve-se bem em praticamente todos os tipos de solo. Para o bom desempenho da cultura, recomenda-se evitar solos: com profundidade efetiva inferior a 1,0 m; com lençol freático elevado e má drenagem; excessivamente argilosos ou arenosos; excessivamente declivosos. Declives superiores a 15% são limitantes ao emprego de máquinas (ANDRADE, 2001).

Demattê (1986) propôs um critério para a cana-de-açúcar, que leva em consideração, principalmente, as características da fertilidade dos solos, separando-os em grupos de manejo: grupo 1 – solos argilosos eutróficos e epitróficos; grupo 2 – solos argilosos distróficos e / ou álicos; grupo 3 – solos de textura média; grupo 4 – solos com teor de argila de 15 a 25% e grupo 5 – solos arenosos com menos de 15% de argila. O potencial produtivo desses solos seria decrescente do grupo 1 ao 5.

2.4 Nutrição Mineral

A extração dos nutrientes do solo pela cana-de-açúcar é influenciada por fatores como: idade das plantas – uma vez que durante o ciclo evolutivo da cultura as exigências nutricionais apresentam-se bastante variáveis; tipo de solo – que afeta a absorção, principalmente pela maior ou menor disponibilidade dos nutrientes; variedades – as exigências nutricionais são controladas geneticamente, ocorrendo, portanto, variações nas necessidades de nutrientes entre variedades (ORLANDO FILHO, 1983). A ordem de extração

de macronutrientes tanto para cana-planta como para cana-soca é: $K > N > Ca > Mg > P$.

Na ausência de adubação, a redução média esperada da produtividade em canaviais está em torno de 30% para solos de boa a média fertilidade (NUNES JÚNIOR, 1999). O autor ainda relata que aqueles que normalmente não recebem qualquer adubação geralmente não formam boa quantidade de rizomas e isso pode comprometer a produtividade das soqueiras seguintes.

O nitrogênio é particularmente importante nos estádios iniciais de desenvolvimento vegetativo da cana, sendo bastante elevado nos tecidos de plantas jovens. Com o avanço da idade fisiológica, o conteúdo de nitrogênio dos tecidos decresce acentuadamente, atingindo valores mínimos nas canas amadurecidas. A deficiência gradual de nitrogênio provoca um acúmulo de sacarose nas folhas (ALEXANDER, 1973). Por sua vez, Landrau et al. (1954) observaram que a adubação nitrogenada reduziu o teor de sacarose em quatro variedades de cana-de-açúcar, no estágio de cana-planta. Já nas soqueiras o efeito foi inverso, segundo os autores.

Segundo Burr et al. (1957), a aplicação do nitrogênio aumenta a produtividade agrícola da cultura, todavia decresce a porcentagem de sacarose e aumenta os teores de açúcares redutores e de umidade dos colmos. Quantidades crescentes de nitrogênio provocaram decréscimo na porcentagem de sacarose dos colmos (FRITZ, 1984).

A aplicação de 160 kg/ha de N, em variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas em São Paulo, induziu um decréscimo de 0,6 pontos de POL na cana-planta (ORLANDO FILHO et al., 1977).

O nitrogênio é crucial no período de formação da cultura, ou seja, no estágio que se inicia imediatamente após a germinação e termina no fechamento do canavial, que normalmente ocorre em torno de 3 a 5 meses após o plantio (ORLANDO FILHO, 1983). É nessa época que se dá a formação dos perfilhos e, para tanto, é necessária uma certa disponibilidade de nitrogênio no solo. A partir do fechamento do canavial, a cultura entra num período de crescimento acelerado, desde que haja boas condições de temperatura e umidade. Sem uma quantidade mínima de nitrogênio no solo, durante o estágio de formação da cultura, tanto o número como o desenvolvimento de perfilhos das plantas são afetados. Mesmo que haja formação de outros perfilhos, esses não terão condições de ser aproveitados para a moagem na colheita. O autor também observou que a produtividade da cana aumenta com o incremento de doses de nitrogênio, porém essas canas apresentam maior conteúdo de umidade. Constatou, ainda, uma correlação positiva entre a absorção de

nitrogênio e a umidade. As canas com bom suprimento de água e nitrogênio, com os demais fatores favoráveis, apresentaram um bom rendimento agrícola e industrial. Pedrosa et al. (2005) não encontraram diferenças significativas na primeira soca, para diâmetro e número de colmos, submetidas a doses crescentes de adubação nitrogenada, em cobertura. As respostas foram significativas apenas para os tratamentos irrigados, segundo os autores. Resultados semelhantes foram obtidos por Moura et. al. (2005), que encontraram uma resposta significativa para diâmetro e número de colmos em plantas de cana primeira soca apenas nos tratamentos em que as plantas receberam irrigação, em relação às plantas dos tratamentos não irrigados.

A fertilização com baixas doses de nitrogênio resulta em menores produtividades de cana, enquanto que em altas doses as plantas têm crescimento exuberante e se desenvolvem por períodos mais longos em detrimento do teor de sacarose. Humbert (1974), citado por Stupiello (2001), mostrou o comportamento da adubação e POL na cana em função das doses crescentes de nitrogênio: 0 kg N/ha – 13,9 POL cana; 110 kg N/ha – 12,9 POL cana; 170 kg N/ha – 12,8 POL cana; 200 kg N/ha – 12,7 POL cana; 220 kg/ha – 12,5 POL cana. Algumas variedades têm comportamento distinto com relação ao nitrogênio, sendo capazes de utilizar mais nitrogênio do que outras, sem alterar o acúmulo de sacarose, ou seja, altas doses podem não afetar a qualidade do caldo (STUPIELLO, 2001). O nitrogênio é um elemento que facilmente se perde em condições de campo, principalmente na forma de uréia. Trivelin et al. (2002), trabalhando com cana-de-açúcar, encontraram perdas de 12% do N-uréia (recuperação de 88%), que ocorreram, principalmente, por desnitrificação no solo. Em cana-soca, a aplicação da uréia em profundidade resultou em 81% de recuperação do N-fertilizante, enquanto na superficial, somente em 50%. Perdas de 50% do N-uréia aplicado em superfície representam aquelas que ocorreram no solo, principalmente, por volatilização de amônia e, também, pela parte aérea da cana-de-açúcar. Com a aplicação em profundidade, as perdas foram de 19% e se deram pela parte aérea das plantas para a atmosfera, sendo a perda total de N (da uréia e de outras fontes) assimilado pela cultura da ordem de 90 kg ha⁻¹. Por outro lado, Gava et al. (2003), ao estudarem a utilização do nitrogênio mineralizado da palhada (¹⁵N) e do nitrogênio da uréia (¹⁵N) aplicados em soqueira de cana-de-açúcar, constataram que do nitrogênio total acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar, 10 a 16% foi absorvido do fertilizante e, em média, 4% do N mineralizado da palhada. A eficiência de utilização do nitrogênio da uréia pela soqueira da cana foi, em média, de 17%, não havendo

diferenças entre os tratamentos, e o da palhada foi em média de 8%. O nitrogênio da palhada foi disponibilizado para as plantas somente no final do ciclo da cultura.

O fósforo tem posição vital no metabolismo da planta e o processo fotossintético requer suprimento adequado do nutriente, que se concentra naquelas partes onde a atividade fisiológica é mais intensa. O teor de P varia consideravelmente dos tecidos mais jovens para os mais velhos (ALEXANDER, 1973). Participa ativamente da interconversão de glicose e frutose à formação da sacarose (BURR, 1957). O processo de transformação de açúcares redutores em sacarose ocorre em todos os órgãos da planta, sendo esse elemento associado à temperatura ambiente, acrescenta o autor.

Alguns autores consideram que a resposta ao acúmulo de sacarose à adubação fosfatada é geralmente pequena e irregular. A aplicação do fósforo, isoladamente ou em combinação com o potássio, aliada a altas doses de nitrogênio, não resultou em significativo aumento na sacarose do caldo extraído (LAKSHMIKANTHAM, 1974). Esse nutriente tem pouca ou nenhuma interferência na qualidade industrial da cana-de-açúcar (CHWAN-CHAU, 1976). Em diversos ensaios, para locais diferentes, o fósforo não teve nenhuma influência na qualidade industrial dos colmos de cana, conforme verificaram Orlando Filho et al. (1980) e Espironelo (1982), utilizando diferentes níveis de adubação fosfatada.

Orlando Filho (1983) verificou que a deficiência em fósforo, aos dois meses de idade das plantas, diminuiu a atividade fotossintética da cana-de-açúcar mais que as deficiências de nitrogênio e de potássio. Também, ao observar que em plantas deficientes desse elemento, deduziu que ocorrem aumento na porcentagem de açúcares redutores e diminuição na sacarose; que existem aumentos nas atividades da invertase e amilase; que há um aumento na taxa de respiração foliar e diminuição da fotossíntese; que há redução no movimento da sacarose das folhas para os tecidos e diminuição da síntese e translocação de proteínas, causando ainda a necrose do floema. O autor concluiu, assim, que o fósforo tem importante participação na formação da sacarose.

Teores adequados de fósforo aumentam a sacarose na cana-de-açúcar. Rossetto et al. (2002), estudando o comportamento da adubação com fosfato natural (P_2O_5 - 120 kg/ha) na cana-de-açúcar (ressoca), observaram que a produtividade encontrada foi de 57,2 t/ha com a aplicação do fosfato no sulco de plantio.

O potássio está envolvido na abertura dos estômatos e na respiração foliar. Ele influencia positivamente a qualidade industrial dos colmos, independentemente da produtividade agrícola da cultura. A deficiência desse elemento contribui para um maior consumo de açúcares do que o normalmente requerido pelo metabolismo da planta e,

conseqüentemente, para uma sensível redução na quantidade de açúcares da cultura. Também, a deficiência desse elemento reduz a translocação dos açúcares sintetizados nas folhas para os tecidos de armazenamento.

Interações entre o nitrogênio e o potássio não afetam a qualidade da cana (INNÉS, 1960). Para Marinho et al. (1975), o potássio não causa efeito depressivo nos rendimentos agrícola e industrial da cultura, bem como na POL cana e pureza. Orlando Filho et al. (1977) não encontraram relação entre o teor de potássio nas folhas de diferentes variedades e a produção de POL/ha. Zambello Jr. et al. (1977) não encontraram resposta positiva entre a adubação potássica e o aumento da sacarose nos colmos. Espironelo et al. (1982) encontraram aumentos na produtividade agrícola na ordem de 10 a 18% e no teor de açúcar dos colmos de 5 a 10% devidos à adubação com potássio.

2.5 Fenologia e Acumulação de Matéria Seca

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene que perfilha abundantemente na sua fase inicial de desenvolvimento (MAGALHÃES, 1987). Todos os estádios de desenvolvimento e, por conseguinte, os rendimentos agrícola e industrial da cana-de-açúcar são governados pela estreita interação entre as suas potencialidades genéticas e o meio-ambiente (BARBIERI et al., 1982; MACHADO et al., 1982). Logo, as condições de todas as estações climáticas determinam o desenvolvimento da planta e o sucesso da cultura, bem como cada estágio de desenvolvimento da planta está especificamente associado a um desses fatores ambientais. Há três fases distintas no ciclo da cultura da cana-de-açúcar: desenvolvimento, maturação e amadurecimento (ALEXANDER, 1973). O desenvolvimento se caracteriza pelo crescimento da planta e a maturação é o estado fisiológico que a planta atinge quando está apta a se reproduzir, pelas gemas laterais do seu colmo. No amadurecimento, segunda fase da maturação, ocorre uma tendência ao armazenamento mais acentuado de sacarose nos internódios superiores, ao se tornarem limitantes às condições de desenvolvimento vegetativo.

A boa germinação é considerada a base da boa produção, enquanto o perfilhamento é o segundo passo para prover a planta com apropriado número de colmos requeridos para um bom rendimento.

O desenvolvimento da planta de cana, como de suas partes constituintes, não ocorre de uma maneira uniforme. Inicialmente ocorre a ramificação subterrânea, que forma uma intensa estrutura, quando o solo é permeado com uma massa de ramificações subterrâneas e raízes, formando uma emaranhada conexão. Após esse período, as gemas brotam e o seu

desenvolvimento inicial é lento. Em seguida, verifica-se um aumento do perfilhamento que atinge um valor máximo, dependendo da variedade e das condições ambientais. O perfilhamento é uma característica geral das gramíneas e, de acordo com o seu modo de crescimento, elas são geralmente divididas dentro de dois grandes grupos: gramíneas moitas (touceiras) e gramíneas em forma de gramas. Esse perfilhamento, após um período determinado, sofre um decréscimo gradual para dar seqüência às outras fases de desenvolvimento. Segundo Dillewijn (1960), essa tendência de desenvolvimento, denominada de período de grande crescimento, é explicada pelo fato de que no estágio inicial de germinação os aparatos de assimilação (folhas) e de absorção (raízes) são muito reduzidos. Quando se estabelece como uma cultura, a competição intra-específica por luz (auto-sombreamento) automaticamente induz uma inibição no perfilhamento e uma aceleração do crescimento do colmo principal (MAGALHÃES, 1987). Esse crescimento em altura – alongação –, que determina o rendimento da cana e a formação de açúcares, continua até a ocorrência de temperaturas baixas, ou de um estresse hídrico moderado, ou, ainda, devido ao florescimento, que é uma ocorrência indesejável em culturas comerciais. Nesse estágio, verifica-se a fixação do teor de sacarose.

O desenvolvimento da cana-de-açúcar é muitas vezes definido em termos de alongação, mas um conceito mais amplo inclui o incremento em matéria seca, assim como incremento em tamanho e peso (HERMANN; CÂMARA, 1999). Durante o período de seca, por exemplo, a alongação do colmo da cana pode chegar a paralisar, mesmo com uma assimilação contínua, resultando no aumento de matéria seca. O contrário é o que acontece durante o estágio inicial de germinação, quando o desenvolvimento de brotos e raízes ocorre às custas de nutrientes armazenados nos toletes. Nesse caso, o incremento em tamanho é associado com decréscimo na matéria seca total. Desde que o colmo da cana não exhibe engrossamento secundário, o incremento em comprimento é mais ou menos proporcional ao incremento em volume. Nesse aspecto, há poucas exceções. O diâmetro dos internódios ao longo do colmo não é uniforme. Isso se aplica especialmente ao topo do colmo, quando os internódios estão mais finos. Adicionalmente, o diâmetro de outras seções do colmo pode ser afetado pelo resultado de condições de crescimento anormais (HERMANN; CÂMARA, 1999).

A maturação é considerada uma das etapas mais importantes na produção da cana-de-açúcar, em que as características varietais são o fator de importância fundamental no processo de acúmulo de sacarose, que é executado às custas de energia no carregamento ativo da sacarose no vacúolo celular (CASTRO, 1999). Alexander (1973) descreve esse estágio como

a culminação das fases dos processos fisiológicos. A primeira fase termina quando a folha velha se separa de seu internódio. A segunda inclui todos os eventos subseqüentes, relativos à acumulação de açúcar nos internódios completamente expandidos. Deve-se sempre considerar que o processo de maturação completa está intimamente ligado aos fatores varietais, culturais e ecológicos que influenciaram os períodos iniciais da vida da planta.

Os bons rendimentos em sacarose só são observados com o processo de maturação completo da cana-de-açúcar antes do corte. A primeira condição é inibir o crescimento da cultura e para isso os agentes mais efetivos são: as baixas temperaturas e a seca moderada (GUELLER, 1999). A temperatura é, talvez, o fator mais efetivo para a cana-de-açúcar acumular sacarose. O tempo frio retarda o desenvolvimento e melhora o teor de sacarose. Ocorrendo o aumento de temperatura, o crescimento recomeça e o processo de acúmulo de sacarose cessa (HUMBERT, 1974). Para Alexander (1973), a temperatura é o fator de maior importância para a maturação fisiológica da cana porque, além de afetar a absorção de água e nutrientes – pelo fluxo transpiratório –, é um condicionante não controlável.

O incremento de matéria seca em ambos os aparatos de assimilação e absorção aumentam em volume e, assim, a sua taxa é expressa pelo processo de compostos de interesses agrônomo e econômico (DILLEWIJN, 1960). Esse processo, entretanto, é constituído apenas de uma certa fração de substância seca que não é consumida na respiração e que, portanto, não contribui na produção de novas substâncias. Além disso, a fase inicial de germinação, durante a qual os órgãos produtivos são formados, é caracterizada mais por uma redução do que pelo aumento da matéria seca (respiração). O autor acrescenta que a grande divergência, entretanto, é causada pelo fato de que no crescimento de folhas velhas a proporção de tecidos que pouco ou nada contribuem para a produção de substâncias orgânicas gradualmente aumenta. Isso se aplica particularmente ao caule, às folhas mortas e à parte do sistema radicular que não é mais ativamente engajada na absorção. Na cana madura a matéria seca contida nesses tecidos não produtivos pode se igualar ou mesmo superar em até 80% do total de substância seca. Em contraste com o colmo, o aparato de assimilação consiste, principalmente, na lâmina da folha verde, continuamente renovada; folhas mais velhas morrem e folhas mais jovens são acrescentadas.

Dillewijn (1960) relata que somente os internódios próximos às raízes e aos tecidos imaturos, junto às folhas verdes, não retêm quantidades apreciáveis de sacarose por muito tempo. Durante o processo inicial de amadurecimento, os valores de sacarose são mais elevados no quarto e quinto internódios a partir da base. O ciclo vegetativo de cada internódio se caracteriza pelo engrossamento e alongação das células de estocagem, pelo aumento

sensível da matéria seca, pela gradual desidratação e pelo aumento da sacarose armazenada. Cessando a elongação celular, as folhas secam e se desprendem do colmo, atingindo o primeiro estágio de formação do internódio adulto, não significando que o mesmo esteja amadurecido. Para atingir esse estágio, os valores de sólidos solúveis são mais elevados na parte central do que na região do nó. Já nos internódios imaturos ocorre exatamente o inverso.

O primeiro estágio de maturação vai até a queda da folha, não significando, porém, que o potencial máximo de acumulação de sacarose tenha ocorrido, podendo a mesma, a partir desse estágio, sofrer acréscimos de até 50%. A segunda fase da maturação – o amadurecimento propriamente dito – depende do tipo de solo e do nível de fertilização empregado, além das características varietais e dos fatores climáticos, entre outros fatores (ALEXANDER, 1973).

A folha, por ser o órgão responsável pela produção dos carboidratos necessários ao crescimento e à produção das plantas, sempre despertou o interesse no conhecimento de suas dimensões, independentemente da espécie vegetal, seja para estudos de análise de crescimento, de nutrição mineral ou mesmo de fenologia. Particularmente com a cana-de-açúcar, o conhecimento da área foliar se faz necessário toda vez que a cultura é submetida a avaliações em que se comparam variedades diferentes. Conhecer a área foliar de um conjunto de genótipos de cana-de-açúcar permite relacionar as variedades com seu potencial produtivo, seja em matéria seca ou em açúcar por área (HERMANN; CÂMARA, 1999). A área foliar, a sua densidade e a forma de distribuição numa comunidade vegetal, principalmente nas espécies cultivadas, são fatores determinantes à produtividade das culturas e há uma estreita interação entre genótipos e ambientes para a formação dessa estrutura foliar (CAMPBELL et al., 1989).

Quando o período favorável ao crescimento é seguido por um outro adverso, as superfícies das lâminas foliares recém-produzidas podem ficar reduzidas. A subsequente melhora das condições de crescimento pode resultar na formação de folhas novas com um decréscimo de superfície. Assim, a tendência normal da superfície das lâminas ao longo do colmo pode ser perturbada por condições externas. O mesmo se aplica para o alongamento dos internódios.

Segundo Fauconnier et al. (1975), a cana-de-açúcar, no seu estágio de máximo desenvolvimento, apresenta um índice de área foliar (IAF) que corresponde aproximadamente a 7 vezes a área de solo ocupada. Essa característica confere à cultura grande capacidade fotossintética e grande capacidade de troca de substâncias (água, gases e nutrientes) com a

atmosfera. Existe uma substancial associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossintética, representada pelo IAF (IRVINE, 1975). O IAF ótimo não é necessariamente o máximo índice registrado, mas aquele em que as folhas inferiores, fotossinteticamente ativas, sejam mantidas ligeiramente acima do ponto de compensação, para que não tenham que ser supridas por metabólitos translocados de folhas superiores. Se o IAF é menor que o valor ótimo, parte da radiação solar será desperdiçada e a produtividade cairá abaixo do potencial (CHANG, 1968). O autor considera que o IAF ótimo para a cultura está entre de 9 a 12. San José et al. (1970) encontraram um valor máximo de IAF de 7,6. Já Yoon (1971) encontrou valores de IAF máximo na ordem de 5 e valores de IAF na maturação de 3,56. Machado (1981) mostrou valores de IAF máximos ao redor de 3,7, não decrescendo mais a partir desse ponto. Os valores do IAF em ecossistemas agrícolas produtivos situam-se na faixa entre 3 e 5 (LAWLOR, 1987); 4,11 (ROBERTSON et al., 1998); 7 (KEATING et al., 1999). Estudos de campo e simulações com modelos matemáticos indicaram que os dosséis com folhas horizontais apresentam IAF em torno de 2. Os dosséis constituídos de folhas com inserção vertical suportaram valores de IAF ótimos entre 3 e 7 (MAJEROWICZ, 2004).

2.6 Variedades

Entre os fatores de produção da cana-de-açúcar, a variedade ocupa lugar de destaque, já que é o único fator capaz de proporcionar aumentos significativos na produtividade agrícola e industrial, sem aumentos nos custos de produção. As variedades de cana que são adequadas para a produção de açúcar e álcool são as mesmas indicadas para a produção de aguardente (ANDRADE, 2001).

O período de industrialização da cana-de-açúcar nas diversas regiões canavieiras é relativamente longo, exigindo o cultivo de um conjunto de variedades para que se racionalize não só a produção agrícola, mas também a industrial (PLANALSUCAR, 1986). Na cultura da cana-de-açúcar, um ambiente para cultivo de uma variedade pode ser considerado como sendo o conjunto de diversos fatores (ano de plantio, local, mês de plantio, mês de corte, etc.) que influenciam na sua produtividade agrícola e industrial (CALHEIROS et al., 1996). Maia et al (1994) relatam que há diferenças de uma variedade para outra, porém isso não é um fator limitante da qualidade, pois, desde que a cana forneça o teor necessário de açúcar, todos os demais requisitos nutricionais das leveduras no momento da fermentação poderão ser suplementados pelo fabricante. Ao longo da história da cana-de-açúcar houve a necessidade de contínua substituição de variedades menos produtivas por outras mais ricas e produtivas.

Uma variedade produtiva tem grande importância econômica no contexto da cultura, pois é um insumo que pode gerar maior lucratividade sem aumento de despesas (MOTA et. al., 1996).

As variedades de cana-de-açúcar são obtidas por meio do cruzamento sexuada em que normalmente ocorre o processo de hibridação. As instituições de pesquisa nacionais que atualmente estão envolvidas na produção de novas variedades são a COPERSUCAR (Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo – variedades SP), IAC (Instituto Agrônomo de Campinas – variedades IAC) e o extinto PLANALSUCAR, que foi absorvido pelas Universidades Federais de São Carlos, Viçosa e Alagoas – variedades RB. O período necessário para a obtenção de novas variedades refere-se no mínimo a dez anos. Algumas dessas instituições de pesquisa continuam liberando um grande número de variedades, fruto de um trabalho de melhoramento com a cultura, conduzido com maior ênfase na década de setenta (PLANALSUCAR, 1986).

Houve alteração no sistema de pagamento da matéria-prima, considerando-se a remuneração em relação não só à quantidade, mas também à qualidade (teor de sacarose), obrigando a classe produtora a optar por uma escolha tecnicamente mais criteriosa das variedades cultivadas (PLANALSUCAR, 1986).

Possíveis erros cometidos quando da implantação da cultura poderão influenciar negativamente no seu rendimento por três ou mais safras. Dessa forma, as condições de solo da área a ser plantada e as condições climáticas que prevalecem por ocasião dos diversos meses de safra são os indicadores principais para a escolha das variedades que devem ser cultivadas e suas respectivas percentagens. Nas usinas, três ou quatro variedades são responsáveis por 80 a 90% da área de corte, permitindo um planejamento de colheita que leva em conta a idade, a maturação e as demais características das variedades, para obter um bom rendimento industrial durante o período da safra (ANDRADE, 2001). Determinadas variedades, quando exploradas de forma otimizada, considerando-se a época de corte, o período adequado de industrialização, a fertilidade e a topografia do solo, permitem a obtenção de excelentes resultados agrícolas e industriais. Cada variedade – ou grupo de variedades – possui características agroindustriais particulares. O conhecimento dessas características possibilita melhor aproveitamento da matéria-prima. Duas características importantes são a época de maturação e a exigência em solo. Um melhor desempenho das variedades é alcançado quando o cultivo é feito em solos apropriados e a colheita na época mais adequada (PLANALSUCAR, 1986).

As variedades CB, CP e CO, que foram as mais cultivadas na década de sessenta e setenta, foram substituídas pelas variedades RB, SP e IAC, liberadas pelas instituições de pesquisa nacionais (PLANALSUCAR, 1986). Os programas de melhoramento genético nacionais elevaram a produtividade das variedades a um patamar tão alto como os de países tradicionalmente na vanguarda do melhoramento genético da cana-de-açúcar. Vale salientar que as variedades RB e SP são as mais adaptadas à diversidade de condições edafoclimáticas brasileiras (MATSUOKA, 1997). Para Ramos (2006), a baixa produtividade da cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro tem como causas: a utilização de terras de baixa fertilidade; o pouco uso de insumos; a utilização de variedades sem considerar a finalidade para a qual elas foram desenvolvidas; a utilização de terras com baixa aptidão agrícola para ser explorada pela cultura, e a prática da exploração em agricultura dependente de chuvas naturais. O autor observou que – nas condições em que foi efetuada a pesquisa – a adubação mineral com NPK pouco influenciou nas variáveis agrônômicas: número de perfilhos, diâmetro dos colmos, altura das plantas e produtividade dos colmos.

2.7 Variáveis tecnológicas

As primeiras tentativas de avaliar a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar tiveram início no final do século XIX na Indonésia, baseadas na medida da pureza aparente do caldo (JUNGHANS et al., 1998). Para Stupiello (1987), a qualidade da cana-de-açúcar depende de um grupo de variáveis e não apenas do seu rendimento em sacarose, ainda que este seja o parâmetro mais importante. Os principais parâmetros utilizados para indicar a qualidade são: a POL (%), o Brix (%) e a pureza aparente.

A cana-de-açúcar deve ser colhida e industrializada quando atinge um teor mínimo de açúcar, suficiente para permitir a extração e transformação em produtos comerciais, como, por exemplo, a cachaça, em bases econômicas. Uma cana é considerada madura, para início de safra, quando atinge os seguintes valores mínimos: Brix (sólidos solúveis) 18%; POL% caldo 15,3% ou POL% cana 13,0; pureza 85% e açúcares redutores de 1%, no máximo. Para o final de safra, considera-se que a cana deve apresentar, no mínimo, 16% de POL% cana (BRIEGER, 1968).

2.7.1 POL (%)

POL é a quantidade em peso de sacarose em 100 ml de solução, medida pelo desvio ótico provocado pela solução, no plano de uma luz polarizada. O termo (%) caldo é usado

quando a análise é feita na amostra de caldo após a extração, e (%) cana quando a análise é feita na amostra de colmos desintegrados (COPERSUCAR, 1980; STUPIELLO, 1987). De acordo com Fernandes (1982), os valores mínimos estabelecidos para POL para o início e o decorrer da safra são de 14,40 e 15,30%, respectivamente. Além do período de análise, o POL também sofre significativa influência das variedades e da interação variedades x época de colheita. Para as indústrias de açúcar e álcool, o melhor são os teores mais elevados de sacarose. O melhoramento genético das variedades, associado com boas práticas agrícolas e com o planejamento da colheita da cana-de-açúcar, tem permitido a elevação do rendimento industrial dos canaviais. POL é o principal fator considerado na avaliação da cana-de-açúcar para pagamento, assim como a pureza. A cana imatura possui mais açúcares redutores e esses promovem a redução do POL. Os açúcares redutores são os capazes de reduzir o cobre presente em soluções cupro-alcalinas, passando da forma Cu^{2+} para Cu^+ (CÉSAR et al. 1993). Para Ripoli (2004), o valor recomendado para POL é maior que 14, portanto as variedades são consideradas ricas quando POL na cana é maior que 14%, médias com POL entre 12,5 e 14%, e pobres com POL menor que 12,5 % (CÉSAR et al., 1993). Landell et al. (1999), citados por Melo et al. (2006), observaram que para tonelada de cana por hectare e tonelada de pol por hectare, a componente de variância clones x ambientes é elevada, confirmando a resposta específica de clones a ambientes diferenciados, com variações consideráveis de resposta à mudança de ambientes.

2.7.2 Brix

Segundo Lopes (1986), Brix é a porcentagem, em peso, de sólidos solúveis aparentes contidos no caldo da cana. Brix refratométrico é a unidade da escala de um refratômetro que, pelo índice de refração da luz, expressa a porcentagem em peso dos sólidos dissolvidos em uma solução açucarada a 20° C. O valor ideal para considerar a cana madura é de no mínimo 18,0° Brix no início e durante o decorrer da safra (COPERSUCAR, 1980; FERNANDES, 1985; CÉSAR et al., 1993).

Para Aquarone (1993), os açúcares totais do caldo devem merecer atenção. Quanto mais madura a cana, mais rico será o caldo dela proveniente, razão pela qual a cana não deve ser trabalhada antes de atingir 18° Brix. Fernandes (1982), ao estudar o comportamento de seis variedades de cana-de-açúcar na maturação, encontrou valores crescentes para Brix, POL e pureza (%) cana. Borba et al. (1988), estudando esses mesmos parâmetros em diferentes variedades, inclusive a RB72454, mencionaram que esta apresentou valores crescentes até os

dezesseis meses, quando foram obtidos os melhores resultados. Carvalho (1992) detectou que os teores de Brix e POL (%) da cana aumentaram com o avanço dos estádios de desenvolvimento vegetativo, embora as variedades tenham apresentado particularidades nessa evolução. Os teores de pureza (%) da cana também aumentaram com a maturação das plantas, o que pode ser explicado por eles serem parâmetros dependentes do POL e Brix.

Os valores de Brix aumentam no decorrer da maturação, conforme a idade da planta avança e as condições climáticas se tornam favoráveis. Os valores máximos são atingidos no meado da safra, voltando a diminuir à medida que a temperatura e a umidade relativa do ar recrudescem e a planta recomeça a vegetar. As variedades amadurecem diferentemente durante o período, algumas apresentam maiores valores de Brix no início da maturação, enquanto outras no meio e no final. Todavia, as maiores diferenças entre variedades são encontradas no início da maturação (MARIOTTI et al., 1979). Assim, o Brix é significativamente influenciado por variedades, períodos de amostragens e suas interações (TANEJA, 1986). Anjos et al. (2007) compararam os efeitos da adubação orgânica e mineral nas variedades de cana-de-açúcar RB72454 e SP79-1011 em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Para o Brix e o POL os valores obtidos foram estatisticamente iguais para adubação orgânica e adubação química.

2.7.3 Pureza

Pureza é a relação entre o teor de sacarose de uma solução (porcentagem de sacarose dissolvida) e o teor do total de material dissolvido, expresso em porcentagem. Pode ser definido como sendo a fração porcentual de sacarose nos sólidos totais de uma solução açucarada (LOPES, 1986). Para Ripoli (2004), a pureza é determinada pela relação $(POL/Brix) \times 100$. Quanto maior a pureza da cana melhor é a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar. Para uma matéria-prima de boa qualidade, a pureza deve ficar acima de 85%. Os açúcares redutores (glicose e frutose) podem interferir na POL em função da sua atividade óptica, bem como os polissacarídeos e algumas proteínas. Entretanto, a pureza não deve ser o único indicador usado para avaliar a qualidade da matéria-prima que chega à indústria.

Segundo Fernandes (1985), o mais comum entre os diversos critérios de julgamento de estágio de maturação da cana é o estabelecimento de valores padrões fixos. Os valores de pureza do caldo ideais para considerar a cana-de-açúcar madura são de 80,0% e 85,0% para o início e decorrer da safra, respectivamente. Os valores de pureza aparente variam significativamente com o período de análise, além de ser influenciados pelas variedades e

suas interações. Para César et al. (1993), a variedade é considerada rica quando a pureza do caldo é superior a 85%, média com pureza superior a 82%, e pobre com pureza inferior a esse valor. As variedades diferem quanto ao tempo necessário para atingir a maturação. Essa característica está relacionada com a extensão do período de crescimento. Stupiello (2000) cita que a pureza é o indicador da quantidade de açúcares em relação aos sólidos solúveis do caldo e que, enquanto no período de crescimento a pureza é baixa, em decorrência da formação e do consumo de açúcares para o crescimento em período de maturação, o acúmulo de sacarose vai se elevando, aumentando também a pureza. Por efeitos climáticos, a pureza pode atingir e manter valores elevados por muito tempo devido às restrições de crescimento, mesmo em momentos em que deveria decrescer.

2.8 Sistemas de Exploração Agrícola

As primeiras formas de exploração agrícola tiveram início em 12.000 a.C., quando o homem encetou a domesticação de inúmeras espécies vegetais, até hoje de indiscutível importância para a socioeconomia mundial. Já a denominada moderna agricultura teve origem a partir do século XVIII. No Brasil, culturas como a mandioca, o milho, o feijão *Phaseolus*, o amendoim, entre outras, já eram exploradas pelos indígenas antes da chegada dos portugueses. Há várias formas de se cultivar o solo. A escolha de um determinado sistema vai depender de fatores ambientais e dos objetivos da exploração. Nesse contexto merecem destaque os que se seguem.

2.8.1 Agricultura Convencional

A visão da agricultura convencional originou-se com Norman Borlaug, pesquisador norte-americano que trabalhou com variedades de milho, trigo e arroz nos seus laboratórios instalados no México (LOMBORG, 2002). Diversas tecnologias, conhecidas coletivamente como “Revolução Verde”, constituíram-se em safras de alto rendimento, devidas à irrigação e ao suprimento de água controlado e à utilização de fertilizantes e pesticidas. O principal trunfo da Revolução Verde estava em aumentar a produtividade de cada hectare de solo.

Já os materiais genéticos ora utilizados se caracterizam por apresentar uma germinação rápida sendo geralmente mais resistentes a doenças e à seca. Em geral, seus caules são mais curtos, quando comparados aos das antigas variedades, havendo, portanto, um maior investimento nas partes economicamente produtivas que são os grãos (LOMBORG, 2002). O

fato de as plantas germinarem e crescerem com mais rapidez torna possível a realização de duas ou três colheitas por ano. O arroz já não leva mais de 150 dias para ser colhido. Muitas cultivares estão prontas para a colheita em até 90 dias. Ao mesmo tempo, é possível cultivar plantações em áreas maiores e com condições climáticas menos favoráveis. O trigo ficou resistente a doenças como o mofo e a ferrugem, o que é muito importante para os agricultores do terceiro mundo, que não podem arcar com os custos dos pesticidas. A irrigação e o monitoramento da água tornaram-se práticas disseminadas e a produção de campos irrigados quase dobrou. A irrigação torna o solo mais fértil, propiciando também duas ou três colheitas por ano. O maior uso de fertilizantes e pesticidas permitiu a melhoria do cultivo de plantas e a diminuição da perda das colheitas pela ação de pragas. A Revolução Verde representou um marco, pois o aumento significativo na produção de alimentos permitiu alimentar um número maior de pessoas (LOMBORG, 2002).

2.8.2 Agricultura Orgânica

A produção agroecológica e suas diversas modalidades ou escolas (orgânica, natural, biodinâmica, permacultura) teve início na Europa na década de 1920, com a experiência de pequenos grupos de agricultores e o acompanhamento de especialistas, pesquisadores e filósofos que, na época, não encontraram recepção fácil às suas idéias. Também no Japão (década de 1930) e nos Estados Unidos (1940), a agricultura orgânica começou a chamar a atenção de grupos de produtores, professores e especialistas, ficando restrita a poucos interessados. Foi somente nas décadas de 1960 e 1970, fruto da crescente consciência ambiental mundial, que a agroecologia se firmou como opção concreta de atividade econômica, ciência e modo de vida na agricultura. Na França, em 1972, foi criada a IFOAM – Federação Internacional dos Movimentos de Agricultura Orgânica – hoje com sede na Alemanha. A IFOAM passou a reunir centenas de entidades e pessoas físicas ligadas à agricultura ecológica no mundo todo, e a Agroecologia começou a se fortalecer.

Em meados da década de 1980 o Brasil começava a discutir o novo paradigma da agricultura alternativa, com seminários e congressos pioneiros em diversos estados do País. Na década de 1990, a agroecologia cresceu e hoje o Brasil é um dos expoentes mundiais no setor, com 800 mil hectares explorados com a agricultura orgânica, envolvendo cerca de 19.000 agricultores (CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2005).

A agricultura orgânica se fundamenta em uma concepção integral do manejo dos recursos naturais pelo homem, envolvendo elementos técnicos, sociais, econômicos e

agroecológicos. Mais que a eliminação ou substituição dos insumos sintéticos, como fertilizantes ou agroquímicos provenientes de indústrias por insumos naturais, a produção orgânica busca reduzir a dependência dos insumos externos, reduzir ou eliminar os impactos ambientais e produzir alimentos saudáveis para mercados altamente competitivos e exigentes (AMADOR, 1999).

A agricultura orgânica moderna busca combinar práticas antigas, como o uso de uma gama de plantas, animais e microrganismos, para manter a fertilidade do solo com tecnologias e conhecimentos avançados das últimas décadas (SOTO et al., 2001).

Os fundamentos básicos da agricultura orgânica procuram: englobar a produção de alimentos em quantidade suficiente e com alta qualidade alimentícia; interagir com todos os sistemas naturais de forma construtiva e promotora da vida; promover e melhorar os ciclos biológicos nos sistemas produtivos, envolvendo microorganismos, a flora e fauna do solo, animais e plantas; manter e aumentar a fertilidade dos solos em longo prazo; promover o uso e a conservação adequada da água, das fontes de água e das formas de vida nela presentes; utilizar, sempre que possível, fontes de energia renováveis para os sistemas produtivos; trabalhar com sistemas produtivos fechados, com respeito à matéria orgânica e aos nutrientes; utilizar materiais e substâncias recicláveis; criar animais de uma forma que permita um comportamento similar ao natural; minimizar ou evitar todas as formas de contaminação resultantes da atividade agrícola; manter a diversidade genética dos sistemas agrícolas e seus arredores, incluindo a proteção das plantas e da vida silvestre; proporcionar a toda pessoa que trabalhe ou esteja envolvida com a produção e o processamento de alimentos orgânicos uma qualidade de vida que cubra suas necessidades básicas, obtendo uma remuneração econômica adequada por seu trabalho; considerar o impacto social e ecológico das áreas produtoras; promover uma cadeia de produção completamente orgânica, socialmente justa e economicamente responsável (SOTO et al., 2001).

2.8.3 Agricultura Orgânica – biológica

As observações feitas no início do século XX pelo botânico e agrônomo inglês Sir. Albert Howard, em relação ao tipo de agricultura praticada pelos camponeses indianos, deram início a essas duas correntes que, apesar dos nomes distintos serem muito semelhantes, podem ser analisadas conjuntamente. Os estudos realizados na Índia sobre compostagem e adubação orgânica resultaram posteriormente na publicação, em 1940, do livro "*Um Testamento Agrícola*", com relevantes referências bibliográficas para os praticantes do modelo orgânico.

A fertilidade dos solos deve ser construída a partir de um amplo suprimento de matéria orgânica e, sobretudo da manutenção de elevados níveis de vermicomposto no solo (CASTILLO, 2004; DAROLT, 2007). Os autores narram que a base dessa corrente se assenta nas seguintes práticas: rotação de culturas, manejo e fertilização do solo. O princípio gerador da estabilidade e saúde das plantas encontra-se no manejo da matéria orgânica como prática geradora de boa fertilidade e estruturação do solo. O solo é considerado um "organismo complexo", repleto de seres vivos (minhocas, bactérias, fungos, formigas, cupins) e de substâncias minerais em constante interação e interdependência. Esse é o princípio da "visão sistêmica" da agricultura, o qual prescreve que a propriedade agrícola deva ser considerada em todas as suas dimensões: produtiva, ecológica, social e econômica. Lady Eve Balfour, que iniciou em 1938 uma experiência comparativa em escala comercial entre agricultura orgânica e a convencional no Reino Unido, cujos resultados foram reconhecidos e publicados quase quarenta anos depois, também pode ser considerada precursora desse tipo de agricultura (CASTILLO, 2004).

Na Suíça se destacou Hans Muller (1891-1988), que fundou um movimento para reforma da agricultura, sendo, portanto, defensor da relação direta entre agricultores e consumidores. Em 1946, fundou a BIO Gemüse AVG, uma cooperativa suíça de pequenos agricultores que utilizavam métodos da agricultura orgânica. Na França se destaca Claude Aubert, cuja obra "O Horto Biológico" se converteu em um clássico. Nos Estados Unidos se destaca J. I. Rodale que expandiu a proposta de Howard e Balfour na revista *Organic Gardening*. O êxito dessa publicação financia a fundação do "Rodale Research Institute", pioneira na pesquisa em agricultura orgânica nos Estados Unidos nas décadas de setenta e oitenta. Esses autores demonstraram grande preocupação pela degradação dos recursos naturais, considerando, principalmente, a saúde do solo como a base da saúde das plantas, dos animais e do ser humano (CASTILLO, 2004).

2.8.4 Agricultura Biodinâmica

A agricultura biodinâmica está baseada nos princípios desenvolvidos por Rudolf Steiner, filósofo esotérico austro-húngaro, nascido em 1861. Em 1924, Rudolf Steiner proferiu uma série de conferências na Silésia a agricultores da Sociedade Antroposófica. Os ensinamentos dessas conferências fazem parte da antroposofia, ou ciência espiritual, fundada como impulso renovador das artes e da ciência. Steiner propõe uma série de práticas agrícolas concretas para serem postas em prática nas fazendas, de tal forma que nenhuma ação se

oponha ao cosmos, com o objetivo de evitar a degeneração dos alimentos e sua perda nutricional e, conseqüentemente, do planeta terra (WILSON, 1986; SIXEL, 2007). O conceito de “organismo-granja” possui os atributos de qualquer organismo vivo: capacidade de auto-regulação, crescimento, desenvolvimento e reprodução. Um organismo pode ser considerado como um número diferente de órgãos que realizam distintas funções, mas que são interdependentes e incapazes de existir sozinhos. Para Steiner, o “organismo-granja” compreende três partes bem diferenciadas e inseparáveis: o ser humano, o pólo solo e o pólo cosmos. Esses pólos devem estar em equilíbrio, e suas influências benéficas devem ser potencializadas, utilizando-se para isso preparados específicos aplicados no solo e na planta em quantidades muito pequenas, chamados de preparados biodinâmicos (WILSON, 1986).

Com o manejo ecológico do agroecossistema, nota-se a generalização do uso de preparados biodinâmicos. O uso desses preparados está atrelado ao comércio, o que contradiz o conceito de que a unidade produtora tenha que ser auto-suficiente. As condições locais – características da matéria orgânica utilizada para fazer a compostagem (composição, toxinas) e as características do solo (pH, composição mineralógica, micro e macro fauna presentes) – podem influir na efetividade dos preparados. Atualmente, os produtores biodinâmicos têm desenvolvido importantes redes de comercialização e marcas próprias como Demeter e Biodyn, inserindo-se no mercado por meio de contratos de produção com os produtores e de transformação e comercialização dos produtos (WILSON, 1986; SIXEL, 2007).

2.8.5 Agricultura Natural

Esse estilo de agricultura foi criado no Japão por Masanobu Fukuoka, descrita na sua obra *“The One-Straw Revolution. An Introduction to Natural Farming”*. A agricultura natural se baseia no respeito e na imitação da natureza com a mínima intervenção humana. As atividades agrícolas devem potencializar os processos naturais, evitando perdas de energia no sistema, não permitindo alterar o solo em nenhum momento, no qual está boa parte do seu êxito produtivo. Propõe as seguintes formas de manejo: não arar, não empregar fertilizantes, não usar pesticidas, não podar. Trata-se de uma forma interessante de agricultura ecológica, que deve se adequar às condições locais onde é aplicado (CASTILLO, 2004; DAROLT, 2007).

2.8.6 Permacultura

Esse estilo surgiu na Austrália e foi formulado por Bill Mollison em 1975, na Universidade de Hobart na Tasmânia e influenciado pela filosofia de Masanobu Fukuoka. Conceitualmente tem a sua base na ecologia. Baseia-se no desenho de sistemas integrados de alta diversidade, em que têm um papel preponderante as espécies animais e vegetais com capacidade de se autoperpetuarem, de tal forma que, com um mínimo de intervenção humana, se obtenham estados de interesse antrópico. Seus objetivos prioritários são: a redução do consumo de energia não renovável, maximizando a geração e conservação da energia dentro do sistema; a auto-suficiência regional, que contribui para a geração de tecnologias adaptadas a situações de marginalidade socioeconômica; a garantia de água de boa qualidade mediante adequada captação, manejo e reciclagem; o controle de fenômenos naturais como o fogo, temperaturas extremas, vento etc. Para atingir esses objetivos, a permacultura baseia-se na planificação do tempo e do espaço de sistemas com alta diversidade de espécies animais e vegetais, microclimas, dentro de uma grande complexidade, onde cada elemento desempenha diversas funções no desenvolvimento do sistema e cada função se encontra assumida por diversos elementos (SOARES, 1998; CASTILLO, 2004).

2.9 Adubação verde

A época em que a prática da adubação verde teve início é obscura, havendo evidências de que era praticada na China antes da dinastia Chou (1134-277 aC), segundo Miyasaka et al., (1984). Filósofos da antiguidade como Teofrástus na Grécia e Varrão, Plínio em Roma, também preconizavam o enterrio de feijões por ocasião de seu florescimento, como prática de melhoria de solos desgastados pelo cultivo intensivo. Durante muito tempo, a adubação verde foi considerada como a condução de uma cultura de leguminosas, plantada no verão, que deveria ser incorporada ao solo por ocasião do seu florescimento (MIYASAKA et al., 1984).

Em sistemas de produção orgânicos não é permitida a adição de adubos químicos sintéticos de alta solubilidade, em que se enquadram os fertilizantes nitrogenados (BRASIL, 1999). As leguminosas contêm altos teores de nitrogênio em seus tecidos – no período de floração –, o que significa uma contribuição acima de 150 kg/ha/ano de nitrogênio, com um percentual de 60 a 80% de nitrogênio proveniente da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (GILLER, 2001), citado por Castro et al. (2004). As leguminosas mais utilizadas em nossas condições são as dos gêneros *Crotalaria*, *Cajanus*, *Canavalia*, entre outras, ressaltando as

espécies *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna aterrima*, *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max*, *Cajanus cajan*, *Dolichos lablab* e *Canavalia ensiformis* (MIYASAKA et al., 1984). Embora se considere, de maneira generalizada, a adubação verde como sendo a incorporação ao solo de material vegetal fresco, utilizando-se gramíneas ou leguminosas, as últimas mostram-se mais apropriadas para tal finalidade, principalmente pelo fato de fixarem nitrogênio do ar, por meio de bactérias do gênero *Rhizobium*, que se associam simbioticamente às suas raízes, formando nódulos e enriquecendo o solo com esse nutriente (MIYASAKA et al., 1984). Segundo Darolt (1998), apud Oliveira et al., (2002), as leguminosas podem ser utilizadas, pois, apesar de possuírem menor relação C/N, apresentam mais rapidamente vantagens como a liberação de nutrientes durante a decomposição.

A função do coquetel de sementes, ou seja, o plantio consorciado de leguminosas e gramíneas com elevada produção de matéria seca, seria de conciliar proteção e adubação do solo (OLIVEIRA et al., 2002). Alcântara et al. (1988), apud Oliveira et al., (2002), afirmam que o milheto e o sorgo podem ser consorciados com leguminosas como o lab-lab, o caupi ou a mucuna. Para a cultura do milho recomenda-se o plantio consorciado de feijão-de-porco e mucuna-preta.

A incorporação de adubos verdes pode proporcionar, dependendo das condições, diversos efeitos como: aumentos no teor de matéria orgânica e maior disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes; redução da lixiviação e aumento da nitrificação e da desnitrificação; concentração dos nutrientes na camada arável (ROSOLEM et al., 2003). Os restos vegetais deixados na superfície do solo, além de protegê-lo da erosão, constituem reserva de nutrientes que podem ser disponibilizados para a cultura principal subsequente, reduzem a evaporação da água e auxiliam no controle de plantas daninhas, dissipando também o impacto das gotas de chuva. A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação carbono/nitrogênio do tecido. Por isso, espécies não gramíneas como a ervilhaca (*Vicia sativa*) e o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas como a aveia preta (CERETTA et al., 2002).

Nas regiões tropicais são escassas as pesquisas sobre esse tema. Temperatura e umidade elevadas, durante a maior parte do ano, favorecem a decomposição dos restos culturais, sendo necessária a utilização de coberturas vegetais com a finalidade de proteção superficial do solo, formação de palhada e reciclagem de nutrientes (LIMA, 2001, apud CRUSCIOL et al., 2005).

A adubação verde não afeta todas as reações do solo simultaneamente (WESTCOTT et

al., 1987). À exceção do nitrogênio, cuja maior parte é fixada do ar a partir da simbiose, os demais nutrientes são retirados do próprio solo e, portanto, as quantidades incorporadas pela adubação verde não devem ser consideradas como adição de nutrientes ao solo. Pelos efeitos de reciclagem e mobilização dos nutrientes de formas pouco assimiláveis para formas mais disponíveis às culturas comerciais, associadas a outros benefícios proporcionados pela adubação verde na melhoria da produtividade do solo, mostram que a prática vem constituir um excelente complemento da adubação mineral em solos com limitações sérias de fertilidade (MUZZILI, 1986). Yadov et al. (1986) encontraram aumentos nos teores de matéria orgânica e nitrogênio do solo após seis ciclos de utilização de adubação verde com *Crotalaria juncea* L. plantada em anos alternados entre a colheita e o replantio da cana-de-açúcar, propiciando inclusive a obtenção de altas produções de cana durante os doze anos de cultivo intensivo. Li (1983) observou a elevação de 0,16% no teor de matéria orgânica de um solo cultivado com adubos verdes intercalares à cultura da cana-de-açúcar, além de incrementos nos teores disponíveis de nitrogênio, fósforo e potássio. Não são raros os estudos onde as alterações de ordem química nos solos são inexpressivas ou inexistentes. No entanto, a adubação verde, se não mostra uma elevação nos teores de matéria orgânica do solo, apresenta um efeito de manutenção de seus teores nos solos onde é incorporada, como foi observado por Bonfils (1963), em que houve a preservação dos teores iniciais de nitrogênio total e matéria orgânica de um solo arenoso onde se utilizou adubação verde.

O efeito da adubação verde sobre os atributos físicos do solo pode ser encarado exclusivamente como resultante do incremento da matéria orgânica do solo. Os adubos verdes nem sempre contribuem na elevação desse teor determinado analiticamente, não sendo uma constante a relação entre adubo verde e as alterações de ordem física nos solos. Os adubos verdes previamente à incorporação exercem uma presença marcante sobre a proteção do solo, principalmente nas camadas superficiais, contra os fatores ambientais, sobretudo a radiação solar e o impacto das gotas de chuva, que destroem os agregados do solo promovendo a obstrução dos poros superficiais pelo acúmulo de argilas, resultando na redução da capacidade de infiltração de água no solo, favorecendo o escoamento horizontal do excesso de água (MACRAE et al., 1987). Segundo o autor, essa proteção afeta sensivelmente a amplitude de variação térmica, o armazenamento e a evaporação de água do solo e perdas por erosão. Macrae et al. (1987), trabalhando com solo arenoso, verificaram que com a adubação verde nenhum parâmetro físico analisado diferiu do tratamento com a monocultura de milho.

A atividade biológica é afetada pela adubação verde devido à atividade exercida sobre a matéria orgânica do solo que, por sua vez, supre os microorganismos presentes com as

substâncias orgânicas e inorgânicas necessárias ao seu desenvolvimento, estabelecendo, a partir da natureza do material vegetal adicionado, um maior desenvolvimento de determinados organismos microbianos, intensificando processos bioquímicos, que resultam na melhoria da capacidade produtiva dos solos. Essa melhoria provém da liberação de nutrientes antes indisponíveis, da melhoria na absorção de nutrientes e água, devidas à ação de fungos micorrízicos, até a melhoria das condições físicas do solo pela proliferação de minhocas, como comprovou Schaaffhausen (1968), através da adição de leguminosas como adubos verdes na tentativa de recuperar solos em regimes tropicais.

Diversos trabalhos abordando o uso da adubação verde em canaviais foram desenvolvidos nos últimos quarenta anos, havendo quase unanimidade em relação ao benefício desta prática para a cultura da cana-de-açúcar. A *Crotalaria juncea* destacou-se de outras leguminosas, propiciando os melhores efeitos sobre a produtividade de canaviais de primeiro corte, obtendo na média cinco ensaios, ganhos de produtividade da ordem de 15%. A ação exercida pela adubação verde foi bastante efêmera, não se verificando efeito residual sobre os cortes subsequentes (CARDOSO, 1956).

Campos (1977), utilizando a *Crotalaria juncea* e o lab-lab como adubos verdes, em rotação entre um ciclo e outro da cultura da cana-de-açúcar, obteve aumentos médios em três cortes de 20% com o uso de *Crotalaria juncea* e 26% de lab-lab, apesar da produção de matéria verde da crotalária ter sido, em média, superior à do lab-lab, 12,8 t/ha contra 7,3 t/ha.

Li (1983) observou incrementos de 11,8% na produção de cana-de-açúcar em função do uso de adubos verdes intercalares à cultura e atribuiu esse aumento à reversão das causas que declinam a fertilidade do solo e o desbalanço de nutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade Agroindustrial da Ypióca, localizada no município de Pindoretama – CE, (latitude de 4° 07' 30" S e longitude 38° 07' 30" W), em terrenos sob pousio há sete anos, aproximadamente.

Na primeira etapa da pesquisa, em fevereiro de 2002, foi feita a escolha das áreas para a instalação do experimento e a coleta de solo para as análises física e química. O solo das áreas experimentais foi classificado como Neossolo Quartzarênico (TABELA 1).

O trabalho foi dividido em três áreas, cada uma medindo 2.324,0 m², sendo a primeira orgânica acrescida de um coquetel de sementes de diversas espécies vegetais, a segunda orgânica acrescida de plantio de feijão-de-corda entre linhas da cana, e a terceira com o plantio convencional da cana-de-açúcar.

3.1 Materiais vegetais utilizados

3.1.1 Variedades de cana-de-açúcar

A variedade RB72454 é de boa produtividade agrícola em qualquer tipo de solo, com destaque para solos de textura leve e menos férteis. Possui boa capacidade de germinação. Não apresenta florescimento fácil, exceto em níveis elevados em anos ou locais climaticamente bastante indutivos. É variedade de maturação média, com alto teor de sacarose, e mantém boas características para a colheita por longo período de safra, ou seja, possui um longo período de utilização (MATSUOKA, 1987).

A variedade CB38-22, quanto ao aspecto geral, apresenta a cor do colmo amarelo-esverdeado, tem porte recurvado, colmos grossos, folhas com largura média, arqueadas. Bainha verde fortemente aderida ao colmo, possui poucos pelos, ligeira serosidade, aurícula grande, verde, cerosa, lígula angular e aurículas dentóides. O colmo é ligeiramente curvo, com rachaduras e riscos longitudinais ausentes. O anel de crescimento é estreito, plano, verde-amarelado. As gemas apresentam tamanho grande, pouco salientes e forma oval. Apresenta boa produtividade agrícola (ANDRADE, 1985).

A variedade SP71-6949 apresenta maturação média, teor médio de sacarose, bom perfilhamento. É pouco exigente em fertilidade do solo, teor de fibra de médio a alto, boa brotação das soqueiras, florescimento fácil, poucos pelos e fácil despalha (ANDRADE, 2001).

Todo esse material de cana-de-açúcar foi proveniente da Unidade Agroindustrial da Ypióca de Pindoretama-CE.

3.1.2 Espécies vegetais constantes do coquetel

Para o coquetel foram utilizadas as seguintes espécies vegetais: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan*), mamona (*Ricinus communis* L.), nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.), milho (*Zea mays* L.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* – Jacq), feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.). O material foi adquirido de diversas fontes comerciais.

3.2 Delineamento experimental, Tratamentos, Área experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de três variedades de cana-de-açúcar: RB72454, SP71-6949, CB38-22 e três sistemas de exploração agrícola: orgânica acrescida do coquetel de sementes (sistema de exploração agrícola I), orgânica acrescida do plantio de feijão-de-corda, cultivar EPACE 10 entre as linhas (sistema de exploração agrícola II), e o plantio convencional da cana-de-açúcar (sistema de exploração agrícola III).

Cada área foi composta por doze parcelas, sendo cada uma constituída de seis linhas de 15,0 m de comprimento com espaçamento de 1,4 m entre as linhas. Das seis linhas, quatro foram consideradas úteis. As linhas das extremidades compuseram as bordaduras. Nos 15,0 m de cada linha, 9,0 m foram considerados úteis. Cada parcela mediu 126,0 m², com área útil de 25,2 m² e o espaçamento entre elas foi de 2,0 m (FIGURAS 1, 2 e 3).

Durante o período de junho a dezembro, as áreas foram irrigadas a cada dois dias por semana com o auxílio de um canhão de irrigação, e a cada duas horas a irrigação foi feita por aspersão. Como a quantidade de água ideal para a cana-de-açúcar situa-se entre 1.000 e 3.000 mm/ano (Andrade, 2001), procurou-se manter com a suplementação da irrigação uma média de 2.000 mm/ano.

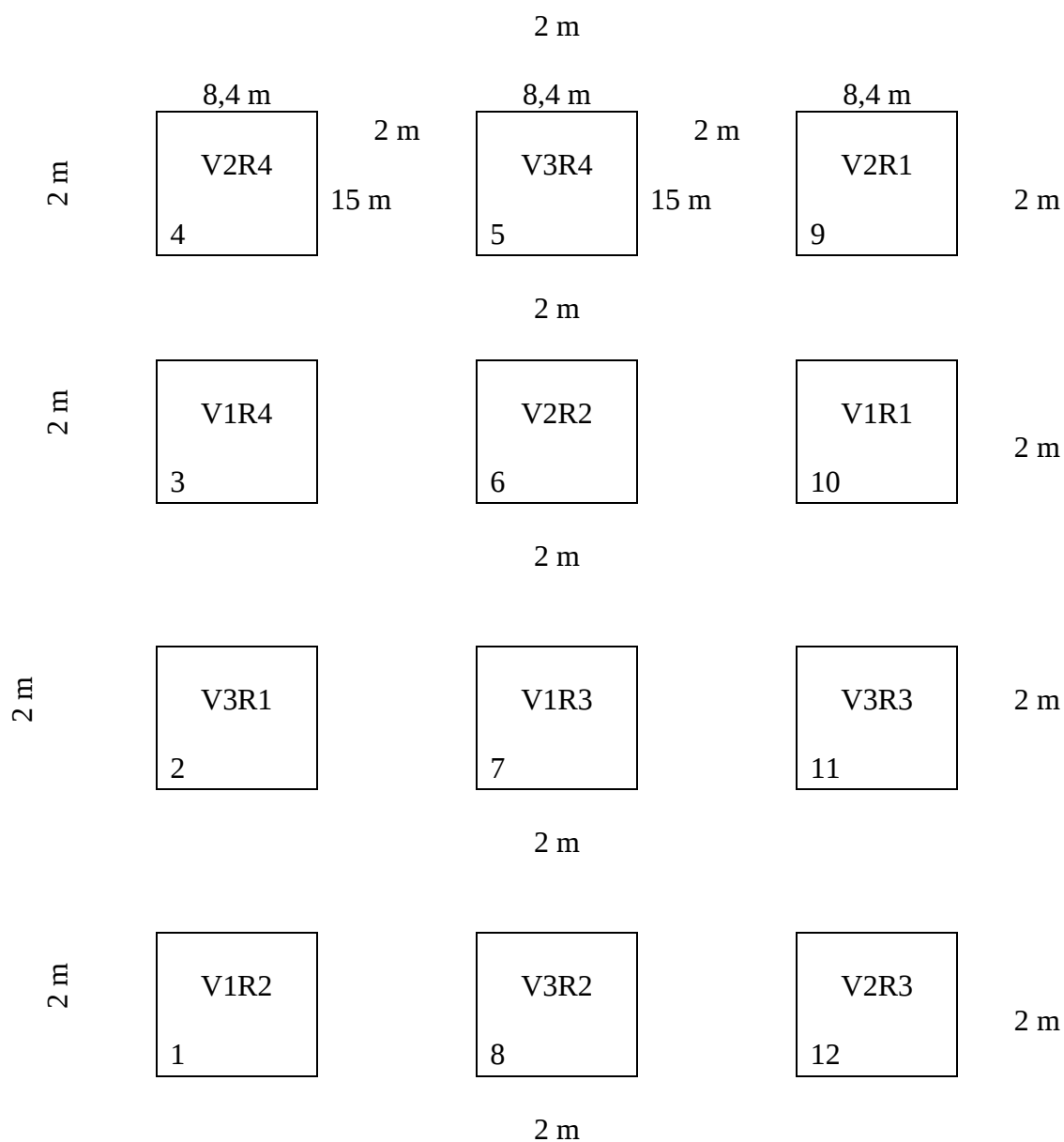


FIGURA 1 – Croqui de campo sistema de exploração agrícola I (Orgânico + coquetel de sementes). Área Total: 2.324,0 m², Área Parcela: 126 m² V = Variedade, R = Repetição, V1 = CB38-22, V2 = RB72454, V3 = SP71-6949.

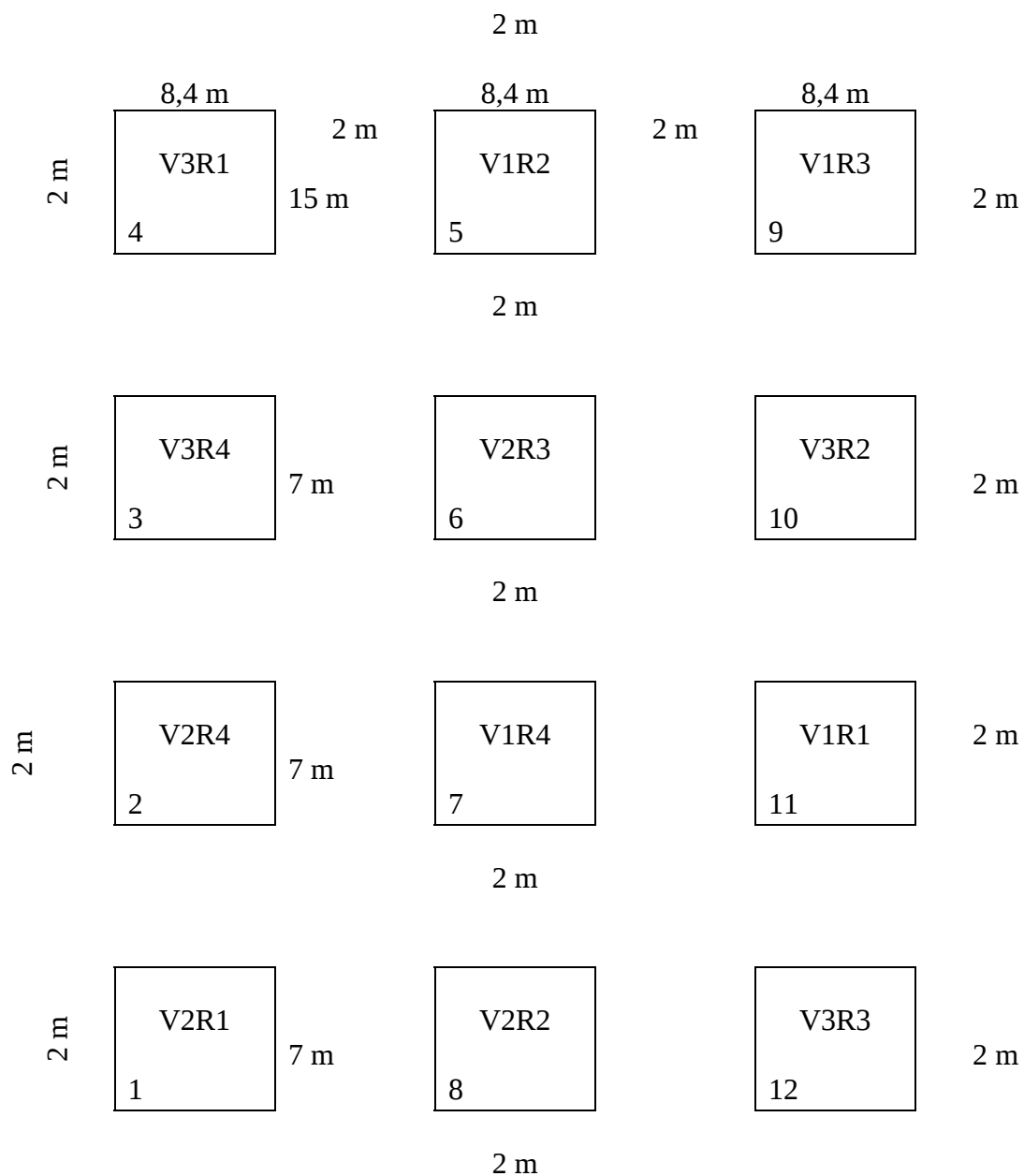


FIGURA 2 - Croqui de campo sistema de exploração agrícola II (Orgânica + Feijão-de-corda, cultivar EPACE 10). Área Total: 2.324,0 m², Área Parcela: 126 m² V = Variedade, R = Repetição, V1 = CB38-22, V2 = RB72454, V3 = SP71-6949.

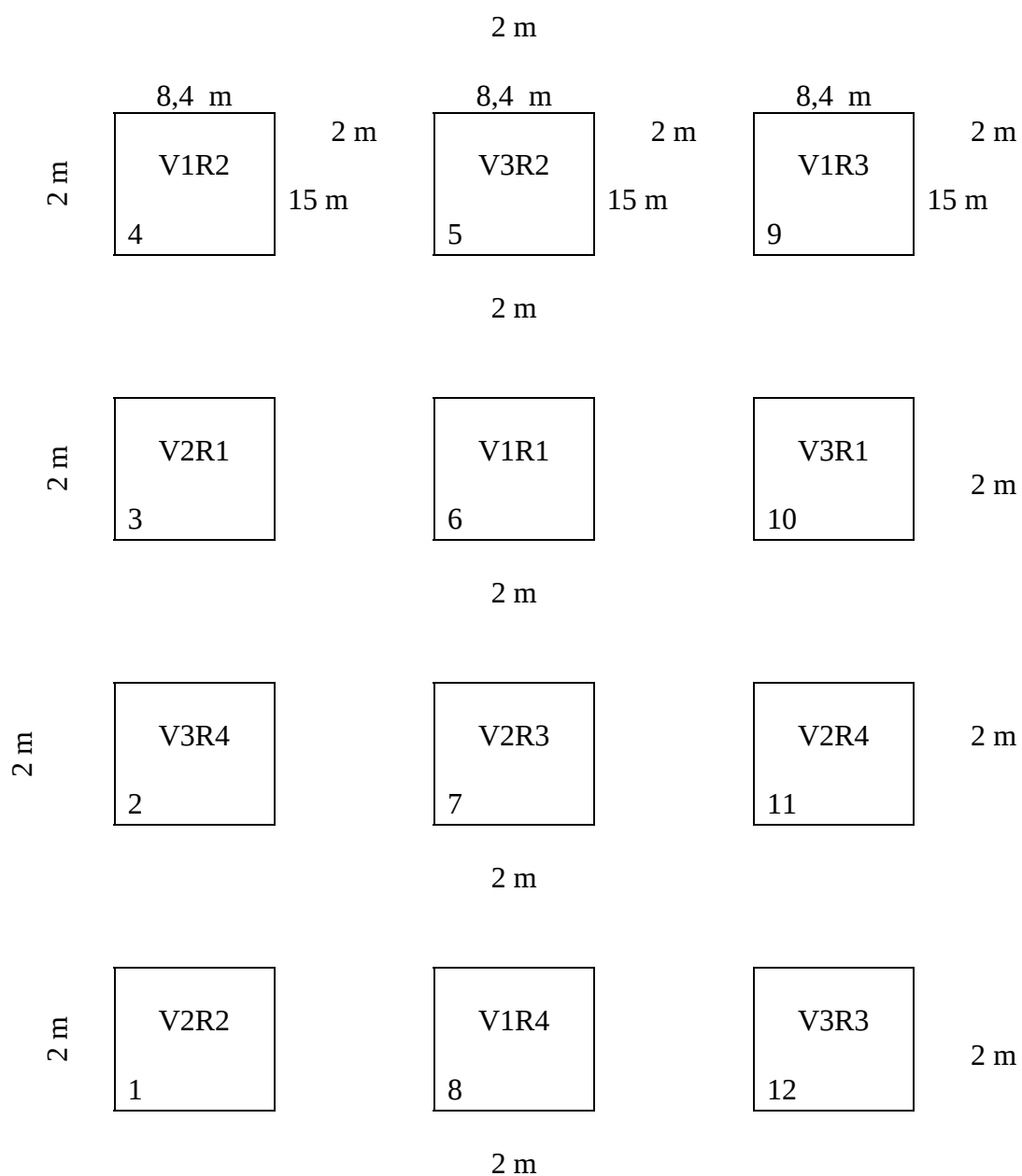


FIGURA 3 – Croqui de campo sistema de exploração agrícola III (Convencional). Área Total: 2.324,0 m², Área Parcela: 126 m² V = Variedade, R = Repetição, V1 = CB38-22, V2 = RB72454, V3 = SP71-6949.

3.3 Sistemas de exploração agrícola

3.3.1 Sistema I (Orgânica + Coquetel de sementes)

A área do sistema de exploração agrícola I (Orgânica + coquetel de sementes) foi preparada em junho de 2002. As quantidades de sementes utilizadas para o plantio de cada espécie foram as seguintes: crotalária (4,20 kg), guandu (1,40 kg), mamona (0,98 kg), nabo forrageiro (0,50 kg), girassol (0,56 kg), gergelim (0,50 kg), milho (1,26 kg), feijão-de-porco (10,00 kg), feijão-de-corda (11,0 kg), sorgo (2,80 kg). As sementes dessas espécies foram misturadas e o plantio feito a lanço dentro da linha, com espaçamento de 0,5 m entre linhas. Após quatro meses, as plantas foram cortadas e incorporadas ao solo.

Em fevereiro de 2003 foi efetuada a calagem em cobertura, aplicando-se, a lanço, em toda a área, a quantidade de 1.600 kg/ha de calcário (PRNT 100%). As operações de preparo do solo e de plantio da cana-de-açúcar foram efetuadas em fevereiro de 2003. O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens cruzadas. Em seguida, efetuou-se o sulcamento, com um sulcador de uma linha, no espaçamento de 1,4 m entre linhas. A adubação de plantio foi efetuada de acordo com os resultados da análise de fertilidade do solo (Tabela 2). A adubação de fundação consistiu de vermicomposto (20.000 kg/ha), fosfato de Araxá (500 kg/ha) e 240 kg/ha de sulfato de potássio. Sessenta dias após o plantio, aplicou-se mais 240 kg/ha desse último fertilizante, em cobertura. Em seguida, os colmos das três variedades de cana-de-açúcar RB72454, CB38-22 e SP71-6949 foram plantados em sulcos e em posições invertidas, ou seja, a base de um colmo coincidia com a extremidade de outro.

3.3.2 Sistema II (Orgânica + Feijão-de-corda, cultivar EPACE 10)

As operações relativas ao preparo do solo e plantio desse sistema também foram efetuadas em fevereiro de 2003. Até essa data, a área foi deixada em repouso, mantendo-se a cobertura vegetal original para que o solo não ficasse exposto. Foi efetuada a calagem em cobertura, sendo a aplicação feita a lanço em toda a área na quantidade de 400 kg/ha (PRNT 100%). O preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar constou de uma aração e duas gradagens cruzadas. Em seguida, foi feito o sulcamento, com sulcador de uma linha, no espaçamento de 1,4 m entre linhas. A adubação de plantio foi feita em função dos resultados da análise de solo (Tabela 2). A adubação de fundação consistiu de vermicomposto (20.000 kg/ha), fosfato de Araxá (166 kg/ha) e sulfato de potássio (240 kg/ha). Sessenta dias após o plantio, foi aplicada a mesma quantidade desse último fertilizante, em cobertura. Para o

plantio dos colmos das variedades adotou-se a mesma metodologia descrita no Sistema de Exploração I.

Em abril de 2003, foi plantado nas entrelinhas o feijão-de-corda. Após dois meses, o feijão foi incorporado ao solo.

3.3.3 Sistema III (Convencional)

A preparação da área e o plantio também ocorreram em fevereiro de 2003, e manteve-se em repouso até essa data. Não foi efetuada a calagem nesse sistema. Em seguida, foi feito o sulcamento, com sulcador de uma linha, no espaçamento de 1,4 m entre linha. A adubação de plantio foi feita em função dos resultados da análise de solo (Tabela 2), e consistiu de uréia na quantidade de 133 kg/ha, em cobertura, aplicados após 60 dias do plantio. O fósforo (250 kg/ha) e potássio (400 kg/ha), na fórmula 0-20-20, foram aplicados em fundação. Sessenta dias após o plantio, foi aplicado mais 133 kg/ha de KCl, em cobertura. Para o plantio dos colmos das variedades adotou-se a mesma metodologia descrita no Sistema de Exploração I.

3.4 Variáveis avaliadas

As avaliações agrônômica e industrial do experimento foram feitas em março de 2005, na ressoca, utilizando-se os colmos da área útil das parcelas.

Para tanto, colheram-se dez colmos por parcela. Para a mensuração de comprimento de colmos, diâmetro de colmos e produção da parte aérea, utilizou-se a metodologia adaptada de Mariotti et al., (1969), apud Arizono et al., (1998). O comprimento de colmos foi determinado com o auxílio de uma fita métrica. O diâmetro de colmos determinou-se com um paquímetro, e o peso da parte aérea com um dinamômetro de campo.

Para área foliar foram mensuradas dez folhas por parcela (folha + 3), sendo medidos comprimento e a maior largura da folha, segundo a metodologia recomendada por Hermann et al. (1999), em que foi aplicada a seguinte fórmula:

$$AF_C = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$$

Onde:

AF_C = Área foliar do colmo

C = Comprimento da folha

L = Maior largura da folha

0,75 = Fator de forma (folha de cana-de-açúcar corresponde a 75% da área retangular)

N = Número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20% de área verde multiplicada por 10 (10 folhas + 3 mensuradas)

2 = Fator de correção

Para o cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), utilizou-se a área foliar calculada de cada parcela multiplicada pelo número de colmos por metro linear da respectiva parcela, dividindo-se esse valor pela área ocupada por cada touceira de cana-de-açúcar (1,4 m²).

Para análise de Brix, POL e pureza, foram colhidos dez colmos de cada parcela e extraído o caldo para análise no laboratório da Ypióca Agroindustrial, em Paraipaba - CE, segundo a metodologia COPERSUCAR (1980).

Os dados obtidos foram analisados segundo a metodologia de Banzatto et al. (1995), com o auxílio do *software* SISVAR (Ferreira, 2000) para a análise estatística.

TABELA 1 Características granulométricas do solo das áreas experimentais 1, 2, 3 nas camadas 0-20, 20-40, 40-60 cm de profundidade. Pindoretama – CE, 2002.

Camada (cm)		0-20			20-40			40-60		
		g/kg								
Área		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Argila		20	20	20	20	20	20	20	20	20
Silte		10	10	10	10	10	10	10	10	10
Areia	Fina	130	100	80	140	130	80	210	140	70
	Grossa	840	870	890	830	840	890	760	830	900
Classificação Textural					Neossolo Quartzarênico					

Classificação Textural Neossolo Quartzarênico

TABELA 2 Resultados da análise de fertilidade do solo da área experimental 1, 2, 3 nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm de profundidade. Pindoretama – CE, 2002.

Camada (cm)	0-20			20-40			40-60		
Área	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ph (água)	6,2	5,9	6,2	6,4	6,0	6,5	6,4	5,9	6,3
M.O. (g/kg)	3,10	9,83	14,58	8,17	5,48	7,55	2,89	6,10	5,99
P (mg/kg)	2	94	25	1	9	5	1	5	2
K (cmol _c /kg)	0,03	0,06	0,06	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Ca (cmol _c /kg)	0,80	1,80	2,40	0,60	1,10	1,00	0,60	0,80	0,80
Mg (cmol _c /kg)	0,60	0,80	1,10	0,40	1,10	1,00	0,40	0,50	0,70
H ⁺ Al (cmol _c /kg)	0,16	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SB									
T	1,6	3,0	3,6	1,0	2,2	2,0	1,0	1,3	1,5
V (%)	94	90	100	100	100	100	100	100	100

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações agronômicas

Os dados relativos aos testes de significância das análises de variância e aos coeficientes de variação das variáveis: área foliar, índice de área foliar, diâmetro de colmos, número de colmos, comprimento de colmos e produtividade dos colmos encontram-se na Tabela 3. Verifica-se que não houve significância estatística para qualquer interação entre as variedades de cana-de-açúcar e os sistemas de exploração agrícola utilizados. Ainda, quando isolados, houve algumas significâncias estatísticas, tanto para variedades, como para sistema de exploração em relação às variáveis estudadas.

TABELA 3 - Análise de variância e coeficiente de variação para as variáveis da área foliar (m^2), índice de área foliar (IAF), diâmetro de colmos (cm), número de colmos (m linear), comprimento de colmos (m) e a produtividade dos colmos (tha^{-1}), em três variedades de cana de açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Quadrados Médios							
Fontes de Variação	GL	Área Foliar	IAF	Diâmetro de Colmos	Número de Colmos	Comprimento de Colmos	Produtividade de Colmos
SE	2	1,19*	0,60*	0,037 ^{NS}	2.166,9*	0,091 ^{NS}	1,58 ^{NS}
V	2	0,47 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,183*	1.518,5*	0,367*	28,46*
SE x V	4	0,33 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,061 ^{NS}	202,92 ^{NS}	0,133 ^{NS}	0,75 ^{NS}
Resíduo	27						
CV (%)		18,38	18,41	8,0	10,95	15,90	17,81

* Significativo a 5% de probabilidade ** Significativo a 1% de probabilidade NS = Não Significativo

CV = Coeficiente de Variação GL = Grau de Liberdade IAF = Índice Área Foliar

SE = Sistema de Exploração V = Variedades.

4.1.1 Área Foliar e Índice de Área Foliar

Para as variáveis relativas à área foliar e ao índice de área foliar ocorreram efeitos significativos apenas para os sistemas de exploração agrícola (Tabela 3). Os sistemas de exploração agrícola I e II – orgânicos – apresentaram as maiores áreas foliares, não diferindo entre si, mas diferindo do sistema de exploração agrícola III – convencional (Tabela 4).

TABELA 4 - Valores médios de área foliar (m²) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	3,27	3,31	2,47	3,02 A
RB72454	2,89	3,19	2,25	2,78 A
SP71-6949	2,54	2,68	2,64	2,62 A
Média	2,90 a	3,06 a	2,45 b	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

Observa-se que, independentemente de cultivares e de sistemas de exploração, as áreas foliares superaram as áreas ocupadas por cada touceira e os valores obtidos para essa variável foram significativamente mais elevados nos sistemas de exploração I e II, quando comparados ao tradicional – sistema III. Sabe-se que a área foliar, a sua densidade e a forma de se distribuir numa comunidade vegetal, principalmente nas espécies cultivadas, são fatores determinantes à produtividade das culturas, havendo uma estreita interação entre genótipos e ambientes para a formação dessa estrutura foliar (CAMPBELL; NORMMAN, 1989). Possivelmente, a falta de interação entre as variedades testadas com os sistemas de exploração deveu-se à interação dessas variedades com outros fatores ambientais, haja vista que esses materiais foram introduzidos, selecionados e já vêm sendo utilizados há bastante tempo pelos produtores de cana da região onde o trabalho foi conduzido. Por conseguinte, devem apresentar características morfofisiológicas bem aproximadas, razão pela qual também se justifique a não significância entre variedades para essa variável.

Como observado para os valores de área foliar, os sistemas de exploração agrícola I e II, independentemente de variedade, também apresentaram maiores valores para os índices de área foliar que o sistema III (Tabela 5).

TABELA 5 - Valores médios de índice de área foliar (IAF) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de-Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	2,34	2,36	1,76	2,16 A
RB72454	2,06	2,28	1,61	1,99 A
SP71-6949	1,81	1,91	1,89	1,87 A
Média	2,07 a	2,19 a	1,75 b	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

De acordo com Burr et al. (1957) e Orlando Filho (1983), a aplicação de nitrogênio aumentaria a produtividade agrícola, pois, segundo Irvine (1975), existe uma associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossintética representada pelo índice de área foliar. Todavia, no sistema de exploração agrícola III, em que foi aplicado nitrogênio na forma de uréia, isso não foi verificado e o resultado obtido ficou abaixo dos sistemas de exploração I e II, em que não houve aplicação de nitrogênio na forma sintética. O nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) fez parte do coquetel de sementes utilizado no sistema de exploração agrícola I (orgânico + coquetel de sementes) e, segundo Ceretta et al. (2002), a taxa de decomposição de determinadas espécies está associada à relação C/N do tecido. Por esse motivo, espécies não gramíneas, como o nabo forrageiro, possuem uma maior taxa de decomposição que talvez tenha contribuído junto com as outras espécies presentes no coquetel para a liberação desse elemento. Yadov et al., (1986), encontraram aumentos nos teores de matéria orgânica e nitrogênio do solo com a utilização de *Crotalaria juncea* L. plantada em anos alternados na cultura da cana-de-açúcar, que também fez parte do coquetel de sementes utilizado. Segundo Giller (2001), apud Castro et al., (2004), as leguminosas contêm altos teores de nitrogênio em seus tecidos, contribuindo para o fornecimento de nitrogênio necessário à cultura.

Ademais, o nitrogênio é um elemento que facilmente se perde em condições de campo, principalmente quando utilizado na forma de uréia. Trivelin et al., (2002), trabalhando com cana-de-açúcar, encontraram perdas de 12% do N-uréia (recuperação de 88%), que ocorreram, principalmente, por desnitrificação no solo. Em cana-soca, a aplicação da uréia em profundidade resultou em 81% de recuperação do N-fertilizante, enquanto na superficial,

somente em 50 %. Perdas de 50 % do N-uréia aplicado em superfície representam aquelas que ocorreram no solo, principalmente, por volatilização de amônia e, também, pela parte aérea da cana-de-açúcar. Com a aplicação em profundidade, as perdas foram de 19% e se deram pela parte aérea das plantas para a atmosfera, sendo a perda total de N (da uréia e de outras fontes) assimilado pela cultura da ordem de 90 kg ha⁻¹. Por outro lado, Gava et al., (2003), ao avaliar a utilização do nitrogênio mineralizado da palhada (¹⁵N) e do nitrogênio da uréia (¹⁵N) aplicados em soqueira de cana-de-açúcar, constataram que do nitrogênio total acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar, 10 a 16% foi absorvido do fertilizante e, em média, 4% do N mineralizado da palhada. A eficiência de utilização do nitrogênio da uréia pela soqueira da cana foi, em média, de 17%, não havendo diferenças entre os tratamentos, e o da palhada foi em média de 8%. O nitrogênio da palhada foi disponibilizado para as plantas somente no final do ciclo da cultura.

Pode-se ainda supor que um maior IAF obtido nos sistemas I e II, quando comparado ao obtido no sistema III, deveu-se a uma maior quantidade de matéria orgânica no solo, durante o ciclo da cultura, que contribuiu para uma maior retenção de umidade capaz de estimular a formação e a retenção de uma maior quantidade de folhas e, assim, a manutenção de um IAF um pouco mais elevado.

Vale também ressaltar que os resultados obtidos em índice de área foliar para os três sistemas de exploração agrícola estão abaixo dos valores ótimos citados em literatura (de 9 a 12 (CHANG, 1968); 7,6 (SAN JOSE, 1970); 5 (YOON, 1971); 3,7 (MACHADO, 1981); 3 a 5 (LAWLOR, 1987); 4,11 (ROBERTSON et al., 1998); 7 (KEATING et al., 1999); 3 a 7 (MAJEROWICZ, 2004)). Inúmeras são as razões para se explicar resultados tão divergentes dessa natureza como os relatados na literatura. Essas variações podem ser devidas, entre outros, a fatores genéticos, como as variedades utilizadas, ao arranjo e à população de plantas, e a fatores bióticos e abióticos do meio ambiente, além da idade das plantas à época das determinações. Especificamente com relação aos baixos valores de IAF obtidos, todos inferiores aos constantes da literatura, pode-se presumir que o espaçamento utilizado – considerado tradicional para a cana-de-açúcar no Brasil, independentemente das condições edafoclimáticas da região e do genótipo utilizado – foi um dos possíveis fatores responsáveis pelos baixos valores obtidos para essa variável. Os fatores edáficos também podem ter contribuído e os diversos sistemas de exploração constantes dos tratamentos estudados, no que concerne à oferta de nutrientes e à melhoria das condições físicas do solo, não foram suficientes para otimizar o ambiente para permitir às variedades a expressão de suas potencialidades.

4.1.2 Número, Diâmetro e Comprimento de colmos

Tanto as variedades como os sistemas de exploração agrícola apresentaram diferenças estatísticas para a variável relativa ao número de colmos por metro linear (Tabela 3). Todavia, não houve interação, estatisticamente significativa, entre essas duas variáveis. O maior número de colmos foi obtido nas plantas dos tratamentos do sistema de exploração agrícola I, diferindo estatisticamente das dos demais sistemas, os quais não apresentaram diferenças entre si (Tabela 6).

O coquetel de sementes utilizado como adubação verde foi provavelmente um dos fatores que contribuíram para o maior número de colmos no sistema de exploração agrícola I. Segundo Rosolem et al. (2003), a incorporação de adubos verdes constitui importantes reservas de nutrientes, passíveis de serem disponibilizadas para a cultura principal subsequente.

TABELA 6 - Valores médios de número de colmos (m linear) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	7,15	5,28	5,18	5,86 A
RB72454	6,44	5,33	4,91	5,55 A
SP71-6949	5,06	4,51	4,42	4,66 B
Média	6,22 a	5,04 b	4,84 b	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

Por outro lado, Westcott et al. (1987) e Bonfils (1963) sugerem que as quantidades incorporadas pela adubação verde não devem ser consideradas como adição de nutrientes ao solo. Em sistemas de produção orgânicos não é permitida a adição de adubos químicos sintéticos de alta solubilidade, em que se enquadram os fertilizantes nitrogenados (BRASIL, 1999). Os coquetéis de sementes, utilizados nos sistemas de cultivo denominados orgânicos, que utilizam espécies de leguminosas e gramíneas, em consórcio, têm por função elevar a produção de matéria seca da área, dentro de um modelo de exploração agrícola sustentável, que contribui tanto para a proteção como para a adubação do solo (OLIVEIRA et al., 2002).

Pouco ainda se sabe sobre os efeitos dos adubos orgânicos no comportamento da cultura da cana-de-açúcar (ANJOS et al., 2007). Também, nas regiões tropicais são escassas as pesquisas sobre o tema, segundo Lima (2001), citado por Crusciol et al. (2005).

As variedades CB38-22 e RB72454 apresentaram um maior número de colmos que a variedade SP71-6949 (Tabela 6). Vale ressaltar que essa última variedade foi a que também apresentou menores valores para as variáveis área foliar e índice de área foliar, apesar de não ter havido diferença estatística entre ela e as duas outras variedades.

Tanto a capacidade de perfilhamento como a de crescimento de uma variedade de cana-de-açúcar, que é definida por fatores genéticos e ambientais – espaçamento, fertilidade e umidade do solo, temperatura ambiente, plantas daninhas, entre outros –, são determinantes para o número apropriado de colmos requeridos para um bom rendimento da cultura (DILLEWIJN, 1960; BARBIERI et al., 1982). Copersucar (1989), Salata et al. (1993), Basile Filho et al. (1993) obtiveram maiores rendimentos em número e produtividade de colmos quando utilizaram espaçamentos mais adensados, em torno de 1,0 metro entre linhas, quando comparado aos espaçamentos tradicionais.

Com relação ao diâmetro de colmos, apenas a fonte de variação relativa a variedades foi estatisticamente significativa. As variedades RB72454 e SP71-6949 apresentaram diâmetro de colmos superiores ao da variedade CB38-22 (Tabelas 3 e 7). O diâmetro de colmos parece ser uma característica fortemente influenciada por fatores genéticos. A maior influência do ambiente para essa variável está relacionada ao teor de umidade do solo. Pedrosa et al. (2005) não encontraram diferença estatisticamente significativa em cana-de-açúcar – 1ª soca – para as variáveis diâmetro e número de colmos, submetidas a doses crescentes de adubação nitrogenada, em cobertura. As respostas foram significativas apenas para os tratamentos que receberam irrigação, segundo os autores. Resultados semelhantes foram obtidos por Moura et. al. (2005), que encontraram uma resposta estatisticamente significativa para diâmetro e número de colmos em plantas de cana – 1ª soca – apenas nos tratamentos em que as plantas receberam irrigação em relação às plantas dos tratamentos não irrigados. A adubação química com nitrogênio e potássio não contribuiu para as plantas apresentarem diferenças para essas variáveis, nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida.

TABELA 7 - Valores médios relativos ao diâmetro de colmos (cm) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
C38-22	2,03	2,01	2,02	2,02 B
RB72454	2,16	2,43	2,14	2,24 A
SP71-6949	2,11	2,19	2,35	2,22 A
Média	2,10 a	2,21 a	2,17 a	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

Verifica-se que para o comprimento de colmos ocorreu efeito significativo para a fonte de variação variedade, mas o teste de separação de médias não detectou diferença estatisticamente significativa entre elas (Tabelas 3 e 8). Já os tratamentos constantes dos sistemas de exploração não exerceram influência significativa sobre essa variável. Desde que o colmo da cana-de-açúcar não exhibe engrossamento secundário, o incremento em comprimento é mais ou menos proporcional ao incremento em diâmetro (DILLEWIJN, 1960). Essa informação foi observada na pesquisa, pois, embora não se tenha detectado diferença estatística entre as variedades para comprimento, como se observou para o diâmetro do colmo, verifica-se uma proporcionalidade entre essas duas variáveis, ou seja, quanto maior o diâmetro do colmo maior é o seu comprimento (Tabelas 7 e 8). Além de fatores genéticos, o comprimento final dos colmos depende da disponibilidade de água no solo, que desempenha papel importante na alongação dos perfilhos (GASCHO et al., 1983; CHANG et al., 1968).

TABELA 8 - Valores médios relativos ao comprimento de colmos (m) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	1,68	1,83	2,02	1,84 A
RB72454	2,39	2,10	2,09	2,19 A
SP71-6949	1,98	1,88	2,23	2,03 A
Média	2,02 a	1,94 a	2,11 a	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

4.1.3 Produtividade de colmos

Em relação à produtividade de colmos, verificou-se um efeito significativo apenas para a fonte de variação relativa a variedades (Tabela 3). Observa-se que as variedades RB72454 e SP71-6949 apresentaram maior produtividade de colmos, em t/ha, que a variedade CB38-22 (Tabela 9). Vale ressaltar que o diâmetro de colmos foi um fator determinante para essa diferença de produtividade estatisticamente significativa. Indiretamente, o comprimento de colmos, embora sem apresentar diferença estatística para variedades e sistema de exploração, pode ter influenciado na produtividade dos materiais avaliados, haja vista que se observou uma relação positiva entre diâmetro e comprimento de colmos. Essa relação também já havia sido constatada por ewijn (1960). O número de colmos, outra variável importante para o rendimento da cultura, nas condições edafoclimáticas em que a pesquisa foi desenvolvida, não influenciou ou exerceu uma menor influência que o diâmetro para o rendimento das variedades constantes do trabalho.

TABELA 9 - Valores médios relativos à produtividade de colmos (t/ha) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	28,1	28,5	30,3	29,0 B
RB72454	41,4	41,6	40,4	41,1 A
SP71-6949	36,9	35,9	41,8	38,2 A
Média	35,5 a	35,3 a	37,5 a	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

A variedade CB38-22 apresentou um maior perfilhamento que as variedades RB72454 e SP71-6949. Essas duas últimas são oriundas de programas de melhoramento genético mais recentes para a cultura e têm uma arquitetura de plantas diferenciada, quando comparada à da CB38-22. Verifica-se, ainda, que o rendimento obtido nas três variedades utilizadas, independentemente dos tratamentos relativos aos sistemas de exploração impostos, ficou bem aquém do valor médio, de 73 t/ha, estimado na produção brasileira (IBGE, 2006). A produtividade da cana-de-açúcar é regida por diversos fatores intrínsecos à variedade (aspectos genéticos) bem como por fatores edafoclimáticos, que interagem entre si (DEMATTÊ, 1986). Rossetto et al. (2002) também obtiveram, em condições semelhantes de solo, resultados de produtividade abaixo do estimado na produção brasileira. Para Ramos (2006), a baixa produtividade da cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro tem como causas: a utilização de terras de baixa fertilidade; o pouco uso de insumos; a utilização de variedades sem considerar a finalidade para a qual foram desenvolvidas; a utilização de terras com baixa aptidão agrícola para ser explorada pela cultura, e a prática da exploração em agricultura dependente de chuvas naturais. O autor observou que, nas condições em que foi efetuada a pesquisa, a adubação mineral com NPK pouco influenciou nas variáveis agrônômicas: número de perfilhos, diâmetro dos colmos, altura das plantas e produtividade dos colmos.

O teor de argila presente no solo das áreas experimentais foi de apenas 2%, tendo também provavelmente esse fator contribuído para a baixa produtividade das variedades (Tabela 2). Segundo Demattê (1986), em solos arenosos, com menos de 15% de argila, a cana tem o seu potencial produtivo bastante prejudicado. Segundo Orlando Filho (1983), o solo é

um dos fatores que mais diretamente influenciam o crescimento da cana-de-açúcar. Nunes Júnior (1999) relata que a redução média esperada de produtividade na ausência de adubação está em torno de 30% para solos de boa e média fertilidade. Nesse caso, a redução da produtividade das três variedades foi maior que 30%. Também, as áreas experimentais estavam em repouso há aproximadamente sete anos, sem nenhum fertilizante orgânico ou sintético adicionado durante esse período.

4.2 Variáveis industriais

Com relação às variáveis industriais, observaram-se diferenças estatisticamente significativas apenas para POL em relação a variedades e sistema de exploração, e para pureza somente em relação aos sistemas de exploração (Tabela 10). Verifica-se também, pelos dados da tabela, que não houve diferença significativa para interações entre essas variáveis. Os valores do coeficiente de variação, abaixo de 10, denotam que houve um bom controle no processamento das análises dessas variáveis.

TABELA 10 - Análise de variância e coeficiente de variação para Brix (%), POL (%) e pureza (%) em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Fontes de Variação	GL	Brix	POL	Pureza
Sistema de Exploração (S)	2	5,45 ^{NS}	16,46 ^{**}	179,83 ^{**}
Variedades (V)	2	3,73 ^{NS}	8,61 ^{**}	33,94 ^{NS}
S x V	4	0,72 ^{NS}	1,65 ^{NS}	25,55 ^{NS}
Resíduo	27			
CV (%)		7,06	8,14	7,22

* Significativo a 5% de probabilidade ** Significativo a 1% de probabilidade NS = Não Significativo CV = Coeficiente de Variação GL = Grau de Liberdade.

4.2.1 Brix

Apesar de não terem sido observadas diferenças estatisticamente significativas para essa variável, verifica-se que as variedades, por ocasião da colheita, haviam atingido a maturidade para essa variável tecnológica, pois na análise do Brix, independentemente dos tratamentos a elas impostos, todos os valores obtidos foram superiores a 18 (Tabelas 10 e 11).

Segundo Brieger (1968); Coopersucar (1980); Fernandes (1985); Aquarone (1993); (César et al., 1993), a cana é considerada madura quando atinge Brix 18. Resultados semelhantes foram obtidos por Anjos et al. (2007), em que não foram verificados efeitos da adubação orgânica e mineral sobre essa variável. Assis et al. (2004), trabalhando com variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação e níveis da adubação, verificaram que os diversos níveis de adubação não influenciaram nos rendimentos industriais da cultura (POL, Brix e PCC). Por outro lado, a cultura respondeu positivamente à irrigação, segundo os autores.

TABELA 11 - Valores médios relativos ao Brix (%) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	19,15	18,90	19,86	19,30 A
RB72454	20,90	19,02	20,77	20,23 A
SP71-6949	19,65	18,52	19,52	19,23 A
Média	19,90 a	18,81 a	20,05 a	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

4.2.2 POL

Tanto as variedades como os sistemas de exploração utilizados diferiram estatisticamente entre si, apesar de não se ter verificado uma interação significativa entre essas duas variáveis (Tabela 10). As plantas constantes dos sistemas de exploração I e III foram as que apresentaram os maiores valores de POL, 13,74 e 14,21%, respectivamente, (Tabela 12). Já os valores médios de POL observados no Sistema II, independentemente de variedade, ficaram bem abaixo dos exigidos pela agroindústria da cana. Para Fernandes

(1985), os valores mínimos para POL recomendados, no início e decorrer da safra, são de 14,4 e 15,3 %, respectivamente. Já Ripoli (2004) relata que o valor do POL deve ser superior a 14% em todo o período de colheita da cana. À exceção das plantas da variedade CB 38-22, as plantas do sistema de exploração III, que sofreram adubação nitrogenada – uréia, 133 kg/ha – foram as que apresentaram os melhores valores médios de POL (14,21%). Hubert (1974), citado por Stupiello (2001), utilizando doses crescentes de adubo nitrogenado, observou que esse fertilizante promoveu um maior crescimento das plantas em detrimento do teor de sacarose. Essa situação não foi observada no do sistema de exploração III, pois a aplicação do nitrogênio provavelmente não afetou os teores mínimos de sacarose recomendados para POL. Deve-se considerar, também, que os dados relativos a esta pesquisa foram obtidos na colheita efetuada na 1ª soca e, de acordo com os resultados obtidos por Landrau et al. (1954), a adubação nitrogenada reduziu o teor de sacarose somente na cana-planta. Nas colheitas subseqüentes (soqueiras), o fertilizante promoveu um efeito inverso, segundo o autor.

TABELA 12 - Valores médios relativos ao POL (%) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão-de- Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	13,43	11,35	12,92	12,57 B
RB72454	14,75	12,31	15,65	14,24 A
SP71-6949	13,05	12,32	14,07	13,15 B
Média	13,74 a	11,99 b	14,21 a	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

Os resultados obtidos das plantas constantes do sistema de exploração agrícola I, que não receberam adubação com nitrogênio sintético, não diferiram estatisticamente das plantas do sistema III, apesar de haver apresentado valores um pouco inferiores aos recomendados na literatura. Já para o sistema de exploração II a tendência também não se confirmou, ou seja, não houve adubação nitrogenada sintética e os valores de POL foram bem inferiores a 14%, independentemente de variedade. Entre as variedades, a RB72454 foi a que apresentou maior POL (14,24%), superando estatisticamente as variedades CB38-22 e SP71-6949, que não diferiram entre si. Sabe-se que o POL sofre uma significativa influência genética e,

atualmente, naqueles genótipos geneticamente melhorados, a adubação nitrogenada já exerce uma menor influência no que se refere aos teores de sacarose (RIPOLI, 2004). Fernandes (1985) e Stupiello (2001) relatam que algumas variedades têm comportamento distinto em relação à adubação nitrogenada e ao acúmulo de sacarose, pois são capazes de utilizar mais nitrogênio do que outras, sem afetar a qualidade industrial dos seus colmos. Por outro lado, estudando as estimativas de alguns parâmetros genéticos em cana-de-açúcar, Landell et al. (1999), citados por Melo et al. (2006), observaram que nos caracteres tonelada de cana por hectare e tonelada de Pol por hectare a componente de variância clones versus ambientes é elevada, confirmando a resposta específica de clones a ambientes diferenciados, com variações consideráveis de resposta à mudança de ambientes.

4.2.3 Pureza

Apenas a fonte de variação relativa ao sistema de exploração exerceu influência sobre esta variável (Tabela 10). Os tratamentos relativos aos sistemas de exploração agrícola I e III foram os que apresentaram maior pureza 69,14% e 71,52%, respectivamente (Tabela 13). Para essa variável tecnológica, a matéria-prima (cana-de-açúcar) é considerada de boa qualidade quando apresenta valores acima de 85% (FERNANDES, 1985; CÉSAR et al., 1993; RIPOLI, 2004). Todavia, deve-se considerar que a pureza não é o único indicador utilizado para avaliar a qualidade da matéria-prima que chega na indústria (RIPOLI, 2004). Embora as plantas dos sistemas de exploração agrícola I e III tenham apresentado os maiores valores de pureza, eles ficaram bem abaixo do padrão exigido. César et al. (1993) relatam que uma matéria-prima é considerada pobre no que concerne à pureza quando o valor do caldo está abaixo de 82%.

TABELA 13 - Valores médios relativos à Pureza (%) obtidos em três variedades de cana-de-açúcar, submetidas a três sistemas de exploração agrícola. Pindoretama - CE, 2005.

Variedade	Sistema de Exploração Agrícola			Média
	Orgânico + Coquetel de Sementes	Orgânico + Feijão- de-Corda cv EPACE 10	Convencional	
CB38-22	70,15	60,72	68,54	66,47 A
RB72454	70,75	64,77	73,98	69,83 A
SP71-6949	66,52	66,35	72,04	68,30 A
Média	69,14 a	63,95 b	71,52 a	

Médias seguidas das mesmas letras no sentido das linhas e colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott (1974).

Embora o valor de POL para o sistema de exploração III tenha se apresentado acima do mínimo, 14% (Tabela 13), ele não foi excepcionalmente alto. Como a pureza é dependente de POL e Brix, os valores obtidos, abaixo do padrão recomendado (85%), estão de acordo com a tendência de POL.

5 CONCLUSÕES

5.1 – Variáveis agronômicas

- Os valores mais elevados de AF e IAF nos Sistemas de Exploração Orgânicos I e II, quando comparados ao Sistema III – convencional, deveram-se, possivelmente, a um maior aporte de matéria orgânica nesses tratamentos, que contribuiu para a retenção de um certo teor de umidade capaz de estimular a formação e a retenção de um maior volume de folhas;
- Os baixos valores de IAF obtidos, inferiores aos valores ótimos preconizados na literatura, podem ser devidos a fatores genéticos, ao arranjo e à população de plantas, ou a fatores bióticos e abióticos do meio ambiente, além da idade das plantas à época das determinações;
- As variáveis relativas a AF, IAF e ao número de colmos não se expressaram num maior rendimento agrícola de colmos das variedades;
- O diâmetro dos colmos foi a variável que contribuiu para o maior rendimento de colmos das variedades, e parece ser uma característica mais fortemente influenciada por fatores genéticos do que por fatores ambientais;
- Independentemente dos tratamentos relativos aos sistemas de exploração impostos, o rendimento de colmos/ha, obtido nas três variedades utilizadas, ficou bem aquém do valor médio, de 73 t/ha, estimado para a produção brasileira de cana-de-açúcar;

5.2 – Variáveis industriais

- Os valores do Brix – superiores a 18, independentemente dos sistemas de exploração – indicaram que as três variedades haviam atingido as suas maturidades fisiológicas por ocasião da colheita;
- O maior valor de POL foi registrado na variedade RB72454 e, independentemente dos sistemas de exploração utilizados, os valores de POL da variedade CB38-22 ficaram abaixo dos exigidos na agroindústria da cana-de-açúcar;

- Os baixos níveis de POL obtidos no Sistema de Exploração II, independentemente de variedades, quando comparado aos obtidos nos Sistemas I e III, pode ter sido consequência de uma maior disponibilização de nitrogênio para a cultura em decorrência do consórcio com o feijão-de-corda, que é uma fabácea extremamente eficiente na fixação desse elemento, apesar de hoje se considerar que, naquelas variedades melhoradas, a adubação nitrogenada já exerça uma menor influência no que concerne aos teores de sacarose. Essa disponibilização de nitrogênio pode ter acontecido ao longo do desenvolvimento da cultura e não somente quando da sua aplicação como ocorreu no Sistema III – convencional;
- Todos os valores para a variável Pureza, independentemente dos tratamentos, ficaram bem abaixo dos exigidos pela agroindústria da cana-de-açúcar, fato talvez consequente dos baixos valores alcançados para o POL, que tem forte influência na Pureza da cana-de-açúcar.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL,1999: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2000. p. 65.

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 725 p.

ANJOS, I. A. dos; ANDRADE, L. A. de B.; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M. de; CARVALHO, G. J. de. 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 e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p.59-63, jan./fev. 2007.

AMADOR, M. ONG y agricultura orgânica: um punto de vista. **Revista Aportes**, México, v. 121-122, p. 20-23, 1999. Edición especial: Agricultura orgânica, uma forma diferente de hacer desarrollo.

ANDRADE, J. C. de. **Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Maceió: ASPLANA. 1985. p. 193-194.

ANDRADE, L. A. de B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.) **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, 2001. p. 19-49.

ARIZONO, H.; MATSUOKA, S.; GUELLER, A. C. A.; MASUDA, Y.; HOFFMANN, H. P.; BASSINELLO, A. I.; MENEZES, L. L. Alternativas para avaliação de produção de cana-de-açúcar. **STAB**: açúcar, álcool e subprodutos, Piracicaba, v. 16, n. 5, p. 20, maio/jun. 1998.

ASSIS, P. C. O.; LACERDA, R. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 1-12, 2004.

AQUARONE, E.; LIMA, U.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1993. p. 91-101. (Série Biotecnologia, v.5).

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. Araras: PLANALSUCAR, Coordenadoria Regional Sul, 1982. 36 p.

BARRETO, P. D. Recursos genéticos e programa de melhoramento de feijão-de-corda no Ceará: avanços e perspectivas. In: QUEIRÓZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.

BANZATTO, D.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247 p.

BEZERRA, C. W. B. **Caracterização química da aguardente de cana-de-açúcar: determinação de álcoois, ésteres e dos íons Li^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , Cu^{+2} e Hg^{+2}** . 1995. 53 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.

BASILE FILHO, A.; CÂMARA, G.S.M.; CÉSAR, M.A.; PIEDADE, S.M.S.; MIRANDA, R.E. Produção e qualidade tecnológica de três variedades de cana-de-açúcar, conduzidas sob espaçamento reduzido e tradicional de plantio em condições de cana-de-ano. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5.; 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: STAB, 1993. p. 15-19.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Últimas notícias**. Brasília, Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 05 jan. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 007, de 17 de maio de 1999. Dispõe sobre normas para a produção de produtos orgânicos vegetais e animais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder executivo, Brasília, DF, 19 de maio 1999. Seção 1, p. 11-14.

BRIEGER, F. O. Início da safra: como determinar a maturação. **Boletim Informativo Copereste**, Ribeirão Preto, n.4 (único), p. 1-3, abr. 1968.

BONFILS, P. Évolution de la matière organique dans deux sols du Senegal. **Agronomie Tropicale**, Paris, v.18, n. 2, p. 1254-1279, 1963.

BORBA, J. M. M.; PATERSON, M.; MELO, F. A. D. Comportamento industrial de diferentes variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de Pernambuco. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 106, n. 5-6, p. 9-14, 1988.

BURR, G. O.; HARTT, C. E.; BRODIE, T. The sugarcane plant. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, CA, v. 8, p. 275-308, 1957.

CALHEIROS, G. G.; BARBOSA, G. V. de S. Análise da interação de genótipos RB de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com ambientes de cultivo em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 253-262.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. The description and measurement of plant canopy structure. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. (Ed.) **Plant canopies, their growth, form and function**. New York: Cambridge University Press, 1989. p. 2-19.

CAMPOS, J. C. B. **Uso de leguminosas para adubação verde da cana-de-açúcar**. Campos: Fundenor Pesquisa, 1977. 4 p. (Informação Técnica, v.2).

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p., il.

CASTILLO, R. M. Análisis de los estilos de agricultura ecológica. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Costa Rica, n. 72, p. 10-21, 2004.

CASTRO, P. R. C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SACCHARUM, 1999. v. 1, p. 12-16.

CASTRO, C. M. de.; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L. de.; RIBEIRO, R. L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 779-785, ago. 2004.

CARDOSO, E. M. **Contribuição para o estudo da adubação verde dos canaviais.** 1956. 109 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1956.

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

CHANG, H.; WANG, J. S.; HO, F. W. The effect of different pan ratio for controlling irrigation of sugarcane in Taiwan. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 13., 1968, Formosa. **Proceedings...** Formosa: Lianjing, 1968. v.13, p. 652-663.

CHANG, J. **Climate ad agriculture:** an ecological survey. Chicago: Aldine, 1968. 304 p.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. ; HERBES, M.G.; POLETO, N.; SIVEIRA, M. J. da. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, jan./fev. 2002.

CÉSAR, M. A. A.; SILVA, F. C. da. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria sucroalcooleira.** Piracicaba: Departamento Editorial [do] Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1993. p. 39.

CHWAN-CHAU, W. The effect of fertilizer application on sucrose content of sugarcane. **Taiwan Sugar**, Taipei, v. 23, n. 4, p. 167-171, 1976.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 3., 2005, Florianópolis. A Sociedade construindo conhecimento para a vida. **Anais...** Florianópolis, 2005.

COPERSUCAR. **Amostragem e análise da cana-de-açúcar.** Piracicaba, 1980. 37p., il

COPERSUCAR. **.Redução de espaçamento na cultura da cana-de-açúcar:** uma revisão bibliográfica. Piracicaba, 1989. 25 p. (Caderno Copersucar, n. 13).

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, E. M.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.

DAROLT, M. R. **As principais correntes do movimento orgânico e suas particularidades.** Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/trabduolt.htm>>. Acesso em: 26 fev. 2007.

DEMATTE, J. L. I. Potencial da produtividade do solo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 137 – 179.

DILLEWIJN, C. van. **Botánica de la caña de azúcar**. Habana: Edición Revolucionária; Instituto Del Libro, 1960. 256 p., il.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos Del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p., il.

ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H.; LEPSCH, I. F.; NAGAI, V.; PEREIRA, J.N.A. Efeitos da adubação NPK em três profundidades, em soca de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., 1982 Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1982. v. 3, p. 89-110.

FAUCONIER, R.; BASSERAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Blume, 1975. 433 p., il.

FERNANDES, A. C. **Comportamento agro-industrial de seis variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com e sem fertirrigação**. 1982. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

FERNANDES, A. C.; BENDA, G. T. A. Distribution patterns of Brix and fibre in the primary stalk of sugar cane. **Sugar Cane**, v. 5, p. 8-13, 1985.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio de SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Programa e Resumos...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 235.

FRITZ, J. Effects of fertilizer application up on sucrose % cane. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 1984. v. 2, p. 630-663.

GAVA, G. J.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (¹⁵N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 621-630, jul./ago. 2003.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed). **Crop-water relations**. New York: John Wiley, 1983. p. 445-479.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 653 p. il.

GUELLER, A. C. A. Fatores que afetam o desempenho de maturadores e reguladores de crescimento em cana-de-açúcar. In: SEMANA DE CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SACCHARUM, 1999. p. 16-19.

HARTT, C. E.; BURR, G. O. Factors affecting photosynthesis in sugarcane. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., 1967, Cartagena de Índias. **Proceedings...** Cartagena de Índias, Celam, 1967. p. 590-609.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32-34, maio/jun. 1999.

HSIAO, T. C. Plant response to water stress. **Plant Physiology**, Minneapolis, n. 24, p. 519-570, 1973.

HUMBERT, R. P. **El cultivo de la caña de azúcar**. México: Editorial Continental, 1974. 719 p., il.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, 2006. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> > Acesso em: 05 dez. 2006.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, 2007. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> > Acesso em: 15 maio 2007.

INNES, R. F. The nitrogen, phosphorus and potassium requirements of sugarcane. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Londres, v. 11, p. 299-309, 1960.

IRVINE, R. P. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 6, p. 671-676, 1975.

JUNGHANS, E.; BUTTERSOCK, C.; SCHIWEK, H.; BURBA, M.; THONSON, G.; DELAVIER, H. **Quality of sugar beet and sugarcane**. Berlin: [s.n.], 1998. p. 209-238, il.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, R. C.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modeling sugar cane production systems I. Development and performance of the sugar cane module. **Field Crop Research**, v. 61, n. 3, p. 253-271, May 1999.

LAKSHMIKANTHAM, M. **Applications of phosphat and potash and their effect on the juice quality of cane crops following heavy nitrogen fertilization.** In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 1974. v. 2, p. 633-636.

LANDRAU, P.; SAMUELS, G. Response of four varieties to fertilizers during the first cycle. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, Costa Rica**, v. 38, n. 2, p. 73-95, 1954.

LAWLOR, D. W. **Photosynthesis: metabolism, control and physiology.** England: Longman Scientifics & Technical, 1987. 262 p., il.

LI, S. L. A preliminary study on rational fertilization in high yielding sugarcane áreas. **Journal of Fugian Agriculture College**, Fugian, v. 12, n. 2, p. 165-176, 1983.

LOMBORG, B. **O ambientalista cético: medindo o verdadeiro estado do mundo.** Tradução Ivo Korytowski, Ana B. Rodrigues. Rio de Janeiro: Campus, 2002. p.78-79.

LOPES, C. H. **Glossário de termos técnicos para a indústria sucro-alcooleira.** Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool; PLANALSUCAR, 1986. 32 p.

MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.).** 1981. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Campinas, Campinas, 1981.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.L.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, set. 1982.

MACRAE, R. J.; MEHUYS, G. R. Effects of green manuring in rotation with corn on the physical properties of two Quebec soils. **Biological Agriculture and Horticulture**, Oxon,UK, v. 4, n. 4, p. 257-270, 1987.

MAIA, A. B.; PEREIRA, A. J. G.; SCHAWBE, W. K. **Segundo curso de tecnologia para produção de aguardente de qualidade**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG; Fundação Cristiano Otoni, 1994. 65p.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafós, 1987. p. 113-118.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p.173-176.

MARINHO, M. L.; CAVALCANTI, G. A.; AMORIM, L. C. **Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento das canaviais de Alagoas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1975. Campinas. **Anais...** Campinas: SBSC, 1975. p. 193-201.

MARIOTTI, J. A. et al. Efecto de la época de muestro sobre la eficiencia de la selection por calidad en caña de azúcar. **Revista Agronomica del Noroeste Argentino**, Tucuman, v. 16, p. 51-66, 1979.

MATSUOKA, S. A importação clandestina de variedades é um grande risco. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 12, jul./ago. 1997.

_____. RB72454: uma variedade de cana-de-açúcar para todo o Brasil. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 105, p. 11-12, 1987.

MELO, L. J. O. T.; OLIVEIRA, F. J. O.; BASTOS, G. Q. B.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J.; REIS, O. V. R. Interação genótipo x ciclos de colheita de cana-de-açúcar da Zona da Mata Norte de Pernambuco. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 197-205, 2006.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O. A.; CAVALERI, P. A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 138 p.

MOTA, C. C.; PEPE, I. A. S.; BARBOSA, G. V. S.; CALHEIROS, G. G.; SOUZA, A. J. R. Competição de novas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 245-252.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

MUZZILI, O. A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalização do uso de fertilizantes. **Informe da Pesquisa IAPAR**, Londrina, n. 10, v. 68, p.1-14, jul. 1986.

NAQVI, H. A.; QAYYUM, R. Effect of drought on sugarcane. **Integral Sugar Journal**, England, v. 75, p. 168-169, 1973.

NUNES JÚNIOR, D. A redução da adubação e a produtividade. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 3, p. 16, 1999.

OLIVEIRA, T. K. de.; CARVALHO, G. J. de.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, ago. 2002.

OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17 p.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool; PLANALSUCAR, 1983. 369 p., il.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr, E. Adubação nitrogenada em quatro variedades de cana planta em LVE –orto. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 4, p. 6-14, 1977.

_____.; _____. Influencia da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 9, p. 37-44, 1980.

PEDROSA, R. M. B.; SANTOS, J. S.; ALBUQUERQUE, W. G.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Avaliação dos parâmetros dos colmos da cana-de-açúcar, segunda folha, submetida a níveis de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 1-5, 2005.

PIMENTA, S. C.; SPADOTTO, A. J. A experiência em uma unidade produtora de cana orgânica. **SACCHARUM: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, p. 30, 1999. Publicação de periodicidade irregular.

PLANALSUCAR. Cultura da Cana-de-açúcar. **Manual de orientação**. Piracicaba, 1986. 56 p, il.

RAMOS, F. A. P. **Comportamento de cana-de-açúcar, cultivar SP79-1011, submetida a diferentes épocas de plantio em duas condições edafoclimáticas**. 2006. 51 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Solos e Engenharia Rural. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Paraíba, 2006.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Qualidade da cana-de-açúcar e seu impacto na indústria. In: _____. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: T. C. C. Tripoli, 2005. cap. 14, p. 185-189.

ROBERTSON, M. J.; DONALDSON, M. J. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. **Field Crop Research**, v. 55, n. 3, p. 201-208, 1998.

ROSENFELD, U.; LEME, F. J. A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão: estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 3., 1984, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: STAB, 1984. p. 18.

ROSSETTO, R.; FARHAT, M.; FURLAN, R.; GIL, M. A.; SILVA, S. F. Eficiência agronômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8, 2002, Pernambuco. **Anais...** Pernambuco: STAB, 2002. p. 276-282.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 355-362, 2003.

SALATA, J.; SANTI, E.; BEBEDITO, E.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos do espaçamento na produção de cana-de-açúcar em função de época de corte e da variedade na região de Quatá – Sudoeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993.

SAN JOSÉ, J. J.; MEDINA, E. Análisis de la productividad de caña de azúcar. I crecimiento, desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de caña de azúcar PR980. **Turrialba: revista interamericana de ciencias agrícolas**, San José, CR, v. 20, n. 2, p. 143-148, 1970.

SCHAAFFHAUSEN, R. V. Recuperação econômica de solos em regimes tropicais através de leguminosas e microelementos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE BIOLOGIA DO SOLO: progressos em biodinâmica e produtividade do solo, 2.; 1968, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: 1968. p. 1-12.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 2, p. 507-512, 1974.

SHAW, M. E. A.; INNES, R. F. The growth pattern and yield of annual cane planted at different seasons and effects of nitrogen treatments. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., 1965, San Juan. **Proceedings...** Amsterdam: ISSCT, 1965. p. 401-428.

SIXEL, B. T. **O que é agricultura biodinâmica**. Disponível em <<http://www.sab.org.br/agric-biod/o-que-eh-BD.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2007.

SOARES, A. L. J. **Conceitos básicos sobre permacultura**. Brasília: MA, SDR, PNFC, 1998. 53 p.

SOTO, G.; MUSCHLER, R. Gênese, fundamentos y situación actual de la agricultura orgánica. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Costa Rica, n. 62, p. 101-105, 2001.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v. 2, p. 761-804.

_____. Nitrogênio: qualidade da matéria-prima e efeitos na fábrica. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 13, mar./abr. 2001.

_____. Pureza da cana e seu impacto no processamento. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 18, n. 3, p. 12, jan./fev. 2000.

TANEJA, A. D. Effect of crop age on the quality of early, mid and late maturing varieties of sugarcane. **Indian Sugar**, Calcutta, v. 36, p. 155-159, 1986.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. de C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p. 193-201, fev. 2002.

VASCONCELLOS, G. F.; VIDAL, J. W. B. **Poder dos trópicos: meditação sobre a alienação energética na cultura brasileira**. São Paulo: Casa Amarela, 1998. 303 p.

ZAMBELLO Jr., E.; ORLANDO FILHO, J.; COLETTI, J. T.; ROSSETO, A. J. Adubação de três soqueiras em três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) cultivados em TE no Estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 3, p. 11-17, 1977.

WESTCOTT, M. P.; MIKKELSEN, S. D. Effect of green manure on rice soil fertility in the United States. In: SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE, Manila, 1987. p. 257-274

WILSON, C. **Rudolf Steiner: el hombre y su visión**. Barcelona, Espanha: [s. n.], 1986. 199 p.

YADOV, R. L.; KISHAN-SINGH. Long term experiments with sugarcane under intensive cropping systems and variation in soil fertility. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 31, n. 4, p. 322-325, 1986.

YOON, C. N. Growth studies on sugarcane. **The Malaysian Agricultural Journal**, v. 2, n. 48, p. 47-59, 1971.

ANEXOS

Precipitação pluviométrica mensal do município de Pindoretama – CE, nos anos de 2003 a 2005.

Ano	2003	2004	2005
Mês	Precipitação pluviométrica (mm)		
Janeiro	394	417	0
Fevereiro	403	234	80,5
Março	498	645	265,5
Abril	475	94	163
Maio	335	53	388
Junho	123	197	240,5
Julho	0	147	23
Agosto	20	10	0
Setembro	0	44	0
Outubro	0	0	0
Novembro	0	0	0
Dezembro	36	0	16,5
Total	2284	1841	1177

Fonte: Ypióca Fazenda Santa Elisa – Pindoretama CE.