



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**EFEITO DA QUEIMA E DAS APLICAÇÕES DE NITROGÊNIO E
VINHAÇA APÓS 16 ANOS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

ALEXANDER SILVA DE RESENDE

*Sob a Orientação do Professor
Segundo Urquiaga*

*e Co-orientação do Professor
Bruno José Rodrigues Alves*

Tese submetida:: como requisito
parcial para obtenção do grau de
Philosophiae Doctor em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2003

633.61
R433e
T

Resende, Alexander Silva de.
Efeito da queima e das aplicações de nitrogênio e
vinhaça após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar/
Alexandre Silva de Resende. - 2003.
100f.: il.(color), grafs., tabs.

Orientador: Segundo Urquiaga.
Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.
Bibliografia: f. 90-99.

1. Cana-de-açúcar - Cultivo - Teses. 2. Vinhaça -
Teses. 3. Queimada - Teses. 4. Solos - Teor de
nitrogênio - Teses. I. Urquiaga Caballero, Segundo
Sacramento. II. Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

ALEXANDER SILVA DE RESENDE

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de *Philosophiae Doctor* em Agronomia.

TESE APROVADA EM 21/02/2003

Segundo Urquiaga. Dr., Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Bruno José Rodrigues Alves Dr., Embrapa Agrobiologia
(Co-orientador)

Eduardo Lima. Dr., UFRRJ

Mauri dos Santos Manhães. Dr., UFRRJ

Antonio Carlos de Souza Abboud. Dr., UFRRJ

DEDICATÓRIA

A todos nós que teorizamos muito, praticamos pouco e de forma incoerente...

“Vi ontem o **Bicho**
Na imundície do pátio
Catando comida entre os detritos

Quando achava alguma coisa,
Não examinava e nem cheirava,
Engolia com voracidade

O Bicho não era um cão,
Não era um gato,
Não era um rato.

O Bicho, meu Deus, era um **homem.**”

Manoel Bandeira

Coerência

“A coerência representa uma estabilidade de comportamentos, uma lógica de conduta. O homem coerente consagra um equilíbrio da mente; uma firmeza de ação e desempenho. Pelo tamanho da coerência se mede a estatura ética de um homem. O incoerente nunca será um líder, podendo no máximo, ser um “chefe” e aqueles que agem propositadamente dessa forma para dar a impressão de “donos da verdade”, acabam por exercer uma tirania pela incoerência e possuem a falsidade como instrumento de relações com seus comandados e estão constantemente atribuindo erros a terceiros, mesmo sabendo que foram eles que os provocaram, pela falta de coerência.”

*Adaptado de:
Teófilo O. Souza, Dr.
IBGE/COF; Membro do Conselho de Ética do CFA
Texto publicado na Revista OLA, da Organização
Latinoamericana de Administração*

BIOGRAFIA

Alexander Silva de Resende nascido em Campo Grande, Rio de Janeiro, no dia 03 de novembro de 1974. Iniciou suas atividades relacionadas à agropecuária no ano de 1989, quando ingressou no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), cursando Agropecuária e concluindo o curso em 1991. Durante este período, desenvolveu algumas atividades relacionadas com topografia, bovinocultura de leite, diversas culturas regionais e levantamentos sócio-culturais, obtendo bolsa de estudo e trabalho por aquela instituição. Em 1992 prestou vestibular para Engenharia Florestal na UFRRJ, e graduou-se em 1997. Durante o curso, trabalhou inicialmente com entomologia florestal, onde obteve seu primeiro contato com a área de pesquisa. Em agosto de 1993, ingressou, através de concurso, como bolsista de iniciação científica do CNPq na EMBRAPA Agrobiologia, sendo bolsista nesta modalidade até setembro de 1997, quando concluiu a graduação. Em 1998 ingressou no mestrado em agronomia, área de concentração em ciência do solo, como bolsista da CAPES desenvolvendo a tese “A fixação biológica de nitrogênio como suporte da produtividade e da fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: Uso de adubos verde”. Em 2000, iniciou seu doutorado, na UFRRJ, com bolsa do CNPq, sob orientação do Dr. Segundo Urquiaga. Em 2002 foi contratado através de concurso público para o cargo de analista agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – onde esteve lotado no Departamento de Contas Nacionais, trabalhando na elaboração e crítica do Produto Interno Bruto do setor Agropecuário do País. Em 2003, foi convocado para a Embrapa Agrobiologia, na condição de pesquisador II.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me permitir caminhar até aqui.

A minha mãe e minha família, por me darem todo o apoio necessário nesta jornada.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que me proporcionou um ensino gratuito e de qualidade.

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do solo, que me possibilitou chegar até aqui.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

À Embrapa Agrobiologia, que vem me dando todo apoio e infra-estrutura.

Ao Dr. Segundo Urquiaga que vem sendo sempre um amigo ao lado durante toda minha trajetória acadêmica.

Aos colegas de trabalho: funcionários de apoio, técnicos, pesquisadores, etc. da Embrapa Agrobiologia.

Aos amigos: Rogério, Celso, Robert, Ricardo Tarré, Polidoro, Ricardo Macedo, Lincoln, Diego, David, Elvino, Claudia, Nazaré, Altiberto, Selmo, Roberto Andrade, Roberto Grégio, Fábio, Octávio, Douglas, Fabiano, a galera do terraço, Adriano Perin.

Ao Sr. Guilherme Queiroz, dono da Usina Cruangi, meus respeitos e reconhecimento a um visionário do setor.

Aos amigos da Usina Cruangi: Dr. Adriano, Dr. Antônio, Gerluce, Cícero, Joca, Eliane, Ramos, Clédson, Ivaldo, Ana, Félix, Manoel José, Mazé, José Marques,

Ao Departamento de Contas Nacionais do IBGE, que me possibilitou vivenciar um “algo mais” em minha carreira.

Ao amigo Valdilson B. de Moraes, que me fez enxergar a Agropecuária de forma diferente.

Aos componentes da banca examinadora, que possibilitaram uma melhora significativa no resultado final deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho, meu sinceros agradecimentos.

E, por último, mas não menos importante, a todos aqueles que não mencionei aqui por falta de espaço, mas que sempre torceram pelo meu sucesso.

SUMÁRIO

1. Introdução Geral.....	1
2. Capítulo I - Efeito da queima e de aplicações de nitrogênio e vinhaça em características tecnológicas e produtivas na cultura de cana-de-açúcar.....	3
3. Introdução.....	6
4. Revisão Bibliográfica.....	7
4.1. Aspectos Históricos dos Estudos Sobre a Prática da Queima no Brasil.....	7
4.2. Efeitos Agronômicos da Aplicação de Vinhaça.....	10
4.3. Efeitos Agronômicos da Aplicação de Nitrogênio.....	11
5. Material e métodos.....	12
5.1. Localização e Características do Solo e do Clima da Área Experimental.....	12
5.2. Tratamentos e Delineamento Experimental.....	13
5.3. Implantação e Condução do Experimento.....	13
5.4. Produção de Colmos, Matéria Seca e N-Total Acumulado pela Cultura de Cana-de-Açúcar.....	13
5.5. Análises Tecnológicas dos Colmos de Cana-de-Açúcar.....	13
5.6. Análise Estatística.....	14
6. Resultados e discussão.....	14
6.1. Produção de Colmos.....	14
6.2. Análises Tecnológicas dos Colmos da Cultura de Cana-de-Açúcar.....	19
6.3. Porcentagem, em Peso, de Sólidos Solúveis Aparentes (Brix).....	19
6.4. Porcentagem, em Peso, da Sacarose Aparente (Pol%).....	20
6.5. Porcentagem de Pureza do Caldo (PZA%).....	23
6.6. Porcentagem, em Peso, de Fibra dos Colmos de Cana-de-Açúcar (Fibra%).....	25
6.7. Porcentagem de Açúcar nos Colmos de Cana-de-Açúcar (PCC%).....	25
6.8. Produção de Açúcar.....	28
7. Conclusões.....	30
7.1. Considerações.....	30
8. Capítulo II Fertilidade, estoque e composição isotópica do c orgânico de solo de floresta nativa e sob diferentes sistemas de manejo da cultura de cana-de-açúcar em Timbaúba, PE.....	31
9. Introdução.....	34
10. Revisão bibliográfica.....	35
10.1. A Ciclagem de Nutrientes.....	35

10.2. Discriminação Isotópica de ^{13}C entre Plantas C ₃ e C ₄	36
10.3. O carbono, a Agricultura e o Meio Ambiente.....	37
10.4. Importância da FBN para o Sequestro de Carbono.....	38
11. Material e métodos.....	39
11.1. Histórico da Área e Implantação do Experimento.....	39
11.2. Amostragem e Preparo das Amostras de Solo.....	39
11.3. Análise de Carbono do Solo.....	39
11.4. Análise do Enriquecimento Isotópico de ^{13}C	40
11.5. Estoque de Carbono do Solo.....	40
11.6. Estoque de Carbono do Solo Proveniente de Plantas do Ciclo C ₃ e C ₄	40
11.7. Análise de Rotina do Solo.....	41
12. Resultados e discussão.....	42
12.1. Características Químicas do Solo.....	42
12.2. Composição Isotópica do Solo sob Cultivo de Cana-de-Açúcar e Mata Nativa.....	46
12.3. Potencial de Seqüestro de Carbono na Cultura de Cana-de-Açúcar.....	50
13. Conclusões.....	56
13.1. Considerações.....	56
14. Capítulo III - Balanço de nitrogênio e carbono do sistema solo/planta, quantificação da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de cana-de-açúcar e o impacto econômico do sistema de colheita.....	57
14. Introdução.....	60
15 .Revisão bibliográfica.....	61
15.1. Fixação Biológica de N na Cultura de Cana-de-Açúcar.....	61
15.2. Técnicas de Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio em Gramíneas.....	61
15.2.1. Diferença de N-total do sistema solo-planta.....	61
15.2.2. Balanço de N-total do sistema solo-planta.....	62
15.2.3. Diluição isotópica de ^{15}N	62
15.2.4. Escolha da planta controle.....	63
15.2.5. Uso de $^{15}\text{N}_2$	65
15.2.6. Abundância natural de ^{15}N	65
16. Material e métodos.....	66
16.1. Procedimentos de Amostragem do Solo e das Plantas.....	66
16.2. Análise de N-Total do Solo e da Planta.....	66

16.3. Balanço de Nitrogênio no Sistema Solo/Planta e Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) Associada à Cultura de Cana-de-Açúcar.....	66
16.4. Balanço de Carbono do Sistema Solo/Planta.....	67
17. Resultados e discussão.....	68
17.1. Produção de Matéria Seca da Parte Aérea da Cana-de-Açúcar.....	68
17.2. N-Total Acumulado pela Cultura de Cana.....	73
17.3. Balanço de Nitrogênio no Sistema Solo-Planta e Estimativa da Contribuição da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).....	80
17.4. Balanço de Carbono no Sistema Solo/Planta.....	82
17.5. O Manejo de Corte da Cana, e o Impacto nas Receitas da Propriedade.....	84
18. Conclusões.....	88
18.1. Considerações finais.....	88
19. Referências bibliográficas.....	90
20. Anexos.....	100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Composição química da vinhaça de mosto de caldo, segundo vários autores. Adaptado de GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1983	10
Tabela 2.	Análise química do solo da área no início do experimento (1983).....	12
Tabela 3.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na produtividade média de colmos frescos ($Mg\ ha^{-1}$) na Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições	15
Tabela 4.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem, em peso, de sólidos solúveis aparentes (Brix), contidos no caldo da cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.....	21
Tabela 5.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem, em peso, da sacarose aparente (Pol%), contidos no caldo da cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições	22
Tabela 6.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem de pureza contido no caldo da cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições	24
Tabela 7.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem, em peso, de fibra dos colmos de cana-de-açúcar cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições	26
Tabela 8.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem de açúcar nos colmos de cana-de-açúcar (PCC) na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.....	27
Tabela 9.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na estimativa da produção de açúcar em $Mg\ ha^{-1}$ na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições	29
Tabela 10.	Influência da queima e aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características químicas e na densidade aparente de um solo Bruno não cárlico cultivado com cana de açúcar durante 16 anos (1983-1999), na usina Cruangi, Timbaúba, Pernambuco. 0-10 e 10-20 cm	42
Tabela 11.	Influência da queima e aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características químicas e na densidade aparente de um solo Bruno não cárlico cultivada com cana de açúcar durante 16 anos (1983-1999), na usina Cruangi, Timbaúba, PE. 20-40 cm.....	44
Tabela 12.	Influência da queima e aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características químicas e na densidade aparente de um solo Bruno não cárlico (Luvissolo) cultivada com cana de açúcar durante 16 anos (1983-1999), na usina Cruangi, Timbaúba, PE. 40-60 cm	44
Tabela 13.	Teor de N (%) no solo no início do estudo. Média de 16 repetições.....	45
Tabela 14.	Teor de carbono total no solo antes e após oito anos de cultivo de cana-de-açúcar (0-20 cm)	45
Tabela 15.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça no enriquecimento isotópico de ^{13}C no solo sob diferentes manejos de cana-de-açúcar e vegetação nativa (0-60 cm). Usina Cruangi, PE	46
Tabela 16.	Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na variação relativa do enriquecimento de ^{13}C do solo sob diferentes manejos de cana-de-açúcar comparado com o solo sob vegetação nativa (0-60 cm).Usina Cruangi, PE.....	47

Tabela 17. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça no carbono original do solo, cultivado com cana-de-açúcar por 16 anos – Percentuais	47
Tabela 18. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça no carbono original do solo (C_3), cultivado com cana-de-açúcar por 16 anos – quantidades	48
Tabela 19. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na deposição de carbono de origem C_4 no solo, após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar – Percentuais.....	49
Tabela 20. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na deposição de carbono de origem C_4 no solo, após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar – Quantidade de carbono derivado da cultura de cana-de-açúcar	49
Tabela 21. Percentual e estoque de carbono no solo cultivado por 16 anos com cana-de-açúcar, submetido à prática de colheita de cana crua ou queimada, sem correção da massa de solo	50
Tabela 22. Emissões líquidas de CO_2 durante o ciclo produtivo da cana de açúcar no Brasil em 1996 – Dados convertidos para Carbono.....	51
Tabela 23. Profundidade do solo utilizada na determinação do estoque de carbono no solo	52
Tabela 24. Profundidade do solo utilizada na determinação do estoque de carbono no solo em cada camada do perfil, para uma mesma massa de solo contida na respectiva profundidade do solo da floresta	52
Tabela 25. Estoque de carbono no solo, considerando a massa de solo da floresta como referência	53
Tabela 26. Estoque de nitrogênio no solo em função da massa de solo na floresta.....	55
Tabela 27. Relação C/N do solo considerando os diferentes tratamentos aplicados à cultura de cana-de-açúcar e ao solo sob floresta	55
Tabela 28. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima, na matéria seca total da parte aérea da cana-de-açúcar (1985-1999).....	69
Tabela 29. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima na matéria seca da palha da cultura de cana-de-açúcar (1985-1999)	70
Tabela 30. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima na matéria seca dos colmos de cana-de-açúcar (1985-1999)	71
Tabela 31. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima na matéria seca da bandeira da cultura da cana-de-açúcar (1985-1999)	72
Tabela 32. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na palhada da cana-de-açúcar (1985-1999).....	74
Tabela 33. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na bandeira da cana-de-açúcar (1985-1999)	76
Tabela 34. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado nos colmos da cana-de-açúcar (1985-1999).....	77
Tabela 35. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar (1985-1999).....	79
Tabela 36. Balanço de nitrogênio no sistema solo/planta (0-20 cm)	81
Tabela 37. Balanço de nitrogênio no sistema solo/planta (0-60 cm)	82
Tabela 38. Balanço de carbono no sistema solo/planta até 20 cm de profundidade	83
Tabela 39. Carbono na parte aérea da cana-de-açúcar – Total de 14 colheitas	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tratamento sem queima (A e B) e queimada (C e D) após 6 cortes na segunda fase do experimento. Usina Cruangi, PE, 1999.....	18
Figura 2. Efeito das aplicações de nitrogênio produção de colmos e na receita gerada pela cultura na Usina Cruangi, Timbaúba, PE.....	85
Figura 3. Efeito das aplicações de vinhaça na produção de colmos e na receita gerada pela cultura na Usina Cruangi, Timbaúba, PE.....	86
Figura 4. Efeito da queima por 18 anos na produção de colmos e na receita gerada pela cultura na Usina Cruangi, Timbaúba, PE.....	87

RESUMO

RESENDE, Alexander Silva de. **Efeito da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar.** UFRRJ, 2003. 118p. (Tese, Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo).

Neste trabalho, realizado na Usina Cruangi, Timbaúba, PE, localizada numa região de transição entre a Zona da Mata e o Agreste daquele Estado, avaliou-se o efeito, por 16 anos (1983-1999), da aplicação de nitrogênio (0 e 80 kg ha⁻¹ na forma de uréia), vinhaça (0 e 80 m³ ha⁻¹) e dos sistemas de corte de cana crua e queimada sobre as características produtivas e tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar, nas características químicas e no estoque de carbono e nitrogênio do solo, e na contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial completo 2 x 2 x 2, e quatro repetições. Constatou-se que a manutenção da palhada no sistema favoreceu a produção de colmos de forma progressiva, com o passar dos anos, e as respostas às aplicações de nitrogênio e vinhaça não foram consistentes. Já as características tecnológicas da cana-de-açúcar foram afetadas negativamente pela aplicação de nitrogênio, o que não se refletiu na produção de açúcar em função do aumento de produtividade de colmos proporcionado por esta prática. A aplicação de vinhaça e a manutenção da palhada no sistema não influenciaram a qualidade do caldo, mas favoreceram a produção de açúcar, pelo mesmo motivo. O açúcar produzido no tratamento em que se manteve a palha no sistema foi 15% maior na primeira fase; 59% na segunda fase e cerca de 28% maior ao longo de todo o experimento, quando comparado às parcelas queimadas. Os efeitos da aplicação dos tratamentos na fertilidade do solo foram sentidos somente até 20 cm de profundidade e a manutenção da palhada favoreceu os teores de nitrogênio e carbono total do solo, enquanto a aplicação de vinhaça dobrou os teores de potássio disponível do solo. A manutenção da palhada conservou o carbono do solo, originário da floresta (C₃), com mais eficiência. O acúmulo de carbono de origem C₄ no solo foi pequeno em relação ao carbono total já existente, mas ocorreu com maior intensidade no tratamento sem queima, possibilitando um incremento do carbono total de cerca de 4400 kg ha⁻¹, aproximadamente 1700 kg ha⁻¹ a mais que o tratamento com queima prévia da palha. A manutenção da palha no sistema favoreceu o estoque de carbono do solo em mais de 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹, incrementando-o em cerca de 10% em relação a vegetação nativa, e em 5% quando comparado ao tratamento convencional de queima prévia do canavial. O estoque de nitrogênio do solo também foi aumentado pela manutenção da palhada, porém em menor magnitude. As plantas acumularam entre 750 e 1500 kg ha⁻¹ de nitrogênio em seus tecidos, nos tratamentos com e sem queima, respectivamente. Em relação ao carbono acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar, este variou entre 100 e 200 Mg ha⁻¹ para os tratamentos com e sem queima da palha, antes do corte. Assim, o balanço de carbono do solo foi positivo para todos os tratamentos, e oscilou entre 2600 e 6500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de C para os tratamentos em que não se aplicou vinhaça e manteve-se a palha, respectivamente. Menos de 6% deste carbono foi efetivamente incorporado ao solo, sendo a maior parte perdido no processo de mineralização deste material. O percentual de contribuição da FBN chegou a 32% do total de nitrogênio acumulado pela parte aérea das plantas. O manejo da colheita de cana crua foi mais 20% mais lucrativo ao produtor após 16 anos, embora, nos primeiros anos, este sistema tenha sido menos rentável que o de colheita de cana queimada, o que sugere que o agricultor deva adotar o manejo de cana crua de forma gradativa, minimizando o impacto dos custos iniciais.

Palavras chave: estoque de carbono, adubação, seqüestro de carbono.

ABSTRACT

RESENDE, Alexander Silva. **Effect of 16 years of pre-harvest burning and applications of nitrogen fertiliser and vinasse on the sugarcane crop.** UFRRJ, 2003. 118p (Thesis, Doctor in Agronomy, Soil Science)

This study conducted at the sugar cane plantation of Usina Cruangi, Timbaúba, Pernambuco localised in a region between the “Zona da Mata” and the “Agreste” of this State. The effects of the addition of nitrogen fertiliser (0 and 80 kg N ha⁻¹), of vinasse (distillery waste - 0 and 80 m³ ha⁻¹) and two harvesting systems (with or without pre-harvest burning) on the yield and industrial parameters of sugarcane were investigated over a 16 year period (1983 to 1999). The effects of these different treatments on chemical characteristics of, and the stocks of carbon and nitrogen in, the soil, and the contribution of biological nitrogen fixation (BNF) were also evaluated. The experiment was laid out in a 2 x 2 x 2 factorial design in complete randomised blocks with four replicates. The maintenance of the trash in the system favoured the cane yields progressively with time, but the responses to the applications of N and vinasse were inconsistent. The technical characteristics of the cane were affected negatively by the application of N fertiliser such that the increase in the productivity of the crop was lower than the increase in sugar production. The application of vinasse and the trash conservation in the system did not influence the quality of the cane juice, but favoured sugar production. The sugar produced in the treatment where trash was conserved was 15 % greater in the first phase; 59 % in the second phase and 28 % greater over the whole experimental period in comparison with the burned cane. The effect of the treatments on soil fertility were significant only to a depth of 20 cm, and the trash conservation favoured the concentrations of total C and N in the soil. The application of vinasse doubled the concentration of exchangeable potassium. Trash conservation conserved soil carbon derived from the original forest (C₃) vegetation in comparison to the practice of pre-harvest burning. The accumulation of the C₄ carbon in the soil was small in relation to the total already present, but was greater in the treatments where trash was conserved, amounting to a total of 4400 kg C₄-C ha⁻¹, approximately 1700 kg C ha⁻¹ more than under the conventional practice of pre-harvest burning. In the plots where trash was conserved, soil C stocks increased by 300 kg ha⁻¹ year⁻¹ which amounted finally to a total equivalent to 10 % in relation to the native vegetation and 5 % in relation to the plots under pre-harvest burning. The stock of soil N was also increased by the trash conservation, but by a lower proportion. The plants accumulated 750 and 1500 kg N ha⁻¹ in their tissues in the treatments with and without pre-harvest burning, respectively. With respect to the carbon accumulated by the shoot tissue of the sugarcane, this varied from 100 to 200 Mg ha⁻¹ for the burned and unburned treatments respectively, before harvest. Thus, the carbon balance of the soil was positive for all treatments and varied between 2600 and 6500 kg C ha⁻¹ year⁻¹ for the treatments without vinasse and with trash conservation, respectively. Less than 6 % of this carbon was effectively incorporated into the soil, the greater part being lost by microbial decomposition. The proportion of N derived from BNF by the cane plants reached 32 % of that accumulated in the aerial tissue of the crop. The management of the crop as green cane (trash conservation) was 20 % more profitable to the plantation owner after 16 years, although in the first years this system was less lucrative than using pre-harvest burning which suggests that the manager should adopt trash conservation gradually minimising the impact of initial extra costs.

Key words: sugar cane, fertilizer, carbon sequestration.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar foi a primeira cultura comercial do Brasil e, em quase 500 anos de história no País, transformou-se em parte integrante do cotidiano do povo brasileiro, seja na cozinha, na indústria, nas ruas, através do álcool combustível, na energia elétrica co-gerada, no papel, nos plásticos, nos produtos químicos, etc.

Avaliando-se a cultura de cana pelo seu potencial energético, pode-se considerar que é uma usina de enorme eficiência: cada tonelada tem um potencial energético equivalente ao de 1,2 barril de petróleo. O Brasil é o maior produtor do mundo, seguido pela Índia e, em média, 55% da cana brasileira é utilizada na fabricação de álcool e 45% na de açúcar. Ela é cultivada na região Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra. Atualmente são 307 usinas e destilarias, das quais 128 estão em São Paulo. Estas usinas e destilarias processam a biomassa proveniente da cana-de-açúcar que gera como principais produtos o açúcar, a energia elétrica, vindas da queima do bagaço nas caldeiras, o álcool hidratado, para movimentar veículos, e o álcool anidro, para melhorar o desempenho energético e ambiental da gasolina (ÚNICA, 2002).

A cultura de cana-de-açúcar ocupa papel de grande importância também na economia de diversos países dos cinco continentes do planeta, tendo maior evidência nas economias da América Latina e do Caribe. No Brasil, a cultura ocupa uma área de 4,9 milhões de hectares e uma produtividade média de 68 Mg ha⁻¹ (IBGE-LSPA, 2002).

A queima do canavial antes do corte, visando facilitar a colheita, a aplicação de vinhaça e a adubação nitrogenada, são práticas bastante difundidas em nosso País. O palhiço, depositado na superfície do solo na ocasião da colheita, soma tipicamente entre 10 e 15 Mg ha⁻¹ de massa seca, promovendo uma cobertura do solo de 10 a 15 cm de espessura (URQUIAGA *et al.*, 1991, RESENDE *et al.*, 1998). A queima deste material expõe a superfície do solo às chuvas e, possivelmente, aumenta a repelência do solo à água através da condensação de produtos da combustão, que têm propriedades hidrofóbicas (DE BANO, 1969; URQUIAGA *et al.*, 1997). Assim, a queima do palhiço pode diminuir a infiltração de água no solo e aumentar o escorrimento superficial, provocando perda da camada fértil pela erosão (CASTRO, 1970). A queima provoca perdas significativas de nutrientes principalmente de N, S, C para o ar e a liberação de formas solúveis dos elementos minerais (P, K, Ca, Mg etc.) (CASTRO, 1970; SMITH, 1970). A curto prazo, estes nutrientes tomam-se disponíveis para as plantas, podendo causar alterações no pH da camada superficial do solo e, consequentemente, na disponibilidade de outros nutrientes (VIRO, 1974; LOURENÇO, 1976). Por outro lado, como a rebrota da soca da cana é relativamente lenta no início e, consequentemente, retardada a retirada de nutrientes do solo, as perdas de nutrientes muito solúveis através da lixiviação e escorrimento superficial podem ser significativas (GRIER, 1975).

Quanto ao aspecto ecológico, não queimando-se o palhiço evita-se a emissão de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, que contribuem para o chamado efeito estufa, e para a formação de chuvas ácidas, que vêm sendo alvos de grande preocupação mundial. A produção de fumaça e fuligem originadas da queima da palha, também se constituem num grande transtorno para as cidades circunvizinhas de regiões canavieiras, a ponto desta prática ser proibida por lei nestas regiões (RESENDE *et al.*, 2000). No entanto, poucos são os estudos referentes ao efeito da queima nas características químicas do solo, a longo prazo.

A cultura de cana-de-açúcar é altamente extrativa em nitrogênio. Para uma produção de 100 Mg ha⁻¹ de colmos frescos, em cana planta, a cultura acumula entre 180 e 250 kg

ha^{-1} de N. Para o ciclo de cana soca, estes valores ficam ao redor de 120 a 180 kg ha^{-1} de N. Em alguns países produtores de cana-de-açúcar, como os Estados Unidos, Cuba, Venezuela e Peru, as adições de nitrogênio estão entre 200 e 400 kg ha^{-1} ano $^{-1}$. Nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar desenvolvidos no Brasil, tanto em Campos (RJ) nos anos 40, como nos programas conduzidos mais recentemente pelo Planalsucar, pela Copersucar (SP) e pelas Universidades Públicas, as aplicações de fertilizante nitrogenado foram sempre modestas (60 a 120 kg ha^{-1} ano $^{-1}$ de N), e as cultivares selecionadas produziram satisfatoriamente nestas condições, raramente mostrando grandes respostas às adições deste nutriente (ZAMBELLO & ORLANDO FILHO, 1981; AZEREDO *et al.*, 1986). E bastante aceitável que, devido a estas baixas doses de N-fertilizante aplicadas durante o processo de melhoramento genético das plantas, os pesquisadores brasileiros contribuíram e vêm contribuindo, para aumentar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura de cana-de-açúcar (URQUIAGA *et al.*, 1997; 1999). A longo prazo, numa mesma área, são poucas as informações sobre a resposta das aplicações de N-fertilizante na cultura de cana-de-açúcar e seus possíveis efeitos nas características químicas do solo.

O uso da vinhaça, assim como o da torta de filtro (resíduos orgânicos das usinas do setor sucroalcooleiro), foram intensificados nos últimos anos na cultura de cana, com resultados bastante positivos. Estudos realizados por pesquisadores da Copersucar no Estado de São Paulo, indicam que a vinhaça é uma importante fonte de nutrientes para a cultura, especialmente nitrogênio e principalmente potássio. Outro fator de primordial importância é o papel ecológico do aproveitamento da vinhaça na fertirrigação, uma vez que quando não aplicada nas áreas próximas as usinas, é despejada diretamente nos cursos d'água, poluindo-os e causando a mortandade de peixes e problemas nas regiões abaixo do ponto de desembocadura (GLORIA & ORLANDO FILHO, 1984). Como ressalva, uma das grandes limitações da aplicação da vinhaça no campo, consiste no fato de que só há viabilidade financeira de sua aplicação nas regiões adjacentes à indústria (GLÓRIA E ORLANDO FILHO, 1984). Este fato é preocupante, uma vez que estas aplicações, são elevadas em quantidade e periodicidade, o que em alguns anos, poderá causar danos irreversíveis aos solos, uma vez que com a vinhaça são depositadas quantidades elevadas de metais pesados, além de sua alta concentração salina.

Embora estas práticas sejam bastante difundidas no Brasil, seus efeitos no solo, à longo prazo, não são bem conhecidos.

A hipótese científica esteve sedimentada no fato da queima e as aplicações de vinhaça e nitrogênio afetarem as características químicas e físicas do solo, e produtivas, nutricionais e tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar.

Os objetivos deste estudo foram:

- Estudar os efeitos das aplicações de nitrogênio e vinhaça, na produção de colmos e biomassa vegetal, e acúmulo de nitrogênio e carbono em cana de açúcar, e na fertilidade do solo, a longo prazo;
- Investigar os efeitos da queima antes do corte, sobre a produção da cana, acúmulo de nitrogênio e carbono, e na fertilidade do solo à longo prazo;
- Quantificar o estoque e a composição isotópica do carbono do solo;
- Fazer o balanço de nitrogênio do sistema solo-planta, em área cultivada com cana de açúcar por 16 anos, quantificando-se a contribuição da FBN à cultura através do método de balanço de N-total do sistema solo-planta.

**2. CAPÍTULO I – EFEITO DA QUEIMA E DE APLICAÇÕES DE
NITROGÊNIO E VINHAÇA EM CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E
PRODUTIVAS NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

RESUMO

As práticas da queima, aplicação de vinhaça e nitrogênio são comuns na cultura de cana-de-açúcar. No entanto, estudos de longa duração são pouco encontrados na literatura. Neste trabalho, realizado na Usina Cruangi, Timbaúba, PE, transição entre a Zona da Mata e o Agreste daquele Estado, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de nitrogênio (0 e 80 kg ha⁻¹ na forma de uréia), da vinhaça (0 e 80 m³ ha⁻¹) e da queima da palhada antes do corte (com e sem queima) a longo prazo (1983-1999) em características produtivas e tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial completo 2 x 2 x 2, e quatro repetições. O experimento teve duas fases: a primeira de 1983-1992 e a segunda de 1992-1999. Os resultados indicaram que desde a primeira fase, a manutenção da palhada no sistema aumentou a produção de colmos de forma progressiva com o passar dos anos. Na primeira fase, esta prática favoreceu a produção de colmos em 23%, em média, e já na segunda fase estes valores foram maiores que 40%, possibilitando uma média de 30% de incremento na produção de colmos num período de 16 anos. Em relação ao efeito da adubação nitrogenada e da vinhaça, estas não foram consistentes ao longo das 14 colheitas efetuadas. A aplicação de nitrogênio afetou negativamente as características tecnológicas da cana-de-açúcar, embora o ganho de produtividade de colmos proporcionado por esta prática tenha favorecido a produção de açúcar e compensado, portanto, estes efeitos. A aplicação de vinhaça e a manutenção da palhada no sistema, não afetaram de forma consistente as características tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar, embora tenham afetado de forma positiva a produção de açúcar, em função do ganho de produtividade.

ABSTRACT

The practices of pre-harvest burning and the application of vinasse and N fertiliser are common in sugarcane cropping. However, there are few published long term studies. In this study carried out at the plantation of Usina Cruangi, Timbaúba, Pernambuco, in the transition zone between the “Zona da Mata” and the “Agreste” of this State, the objective was to study the effects of the addition of vinasse (distillery waste - 0 and 80 m³ ha⁻¹) and nitrogen fertiliser (0 and 80 kg N ha⁻¹) and two harvesting systems (with or without pre-harvest burning) on the yield and industrial parameters of sugarcane in a long term study (1983 to 1999). The experiment was laid out in a 2 x 2 x 2 factorial design in complete randomised blocks with four replicates. The experiment had two phases: the first from 1983 to 1992 and the second from 1992 to 1999. The results indicated that since the first phase trash conservation increased the production of cane progressively as the years passed. In this first phase, this practise favoured cane production by a mean of 23 %, while in the second phase these values were greater than in the burned plots by 40 %, giving an average of 30 % over the 16-year period. With respect to the effect of the addition of nitrogen fertiliser and vinasse there was no consistent effect over the 14 harvests realised. The application of nitrogen affected negatively the technological characteristics of the sugarcane, although the gain in cane yield proportioned by this practise favoured the overall production of sugar and hence compensated for these negative effects. The application of vinasse and the maintenance of the trash made no consistent effect on the industrial parameters of the sugarcane, although once again there was an overall gain in sugar production in function of the increased yields.

3. INTRODUÇÃO

Nas décadas de 50 e 60, acompanhando a revolução mundial ocorrida na agricultura, o setor açucareiro apresentou grande avanço. Estimulando práticas culturais que facilitassem o manejo e reduzissem o uso de mão-de-obra. Assim, a queima prévia dos canaviais passou a ser praticada em larga escala. Com a queima são perdidos cerca de $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de palha, que contém diversos nutrientes entre eles o nitrogênio ($40\text{-}60 \text{ kg ha}^{-1}$), enxofre ($15\text{-}30 \text{ kg ha}^{-1}$) além de carbono (4500 kg ha^{-1}) (URQUIAGA *et al.*, 1997; RESENDE, 2000). O impacto desta prática sobre o solo e sobre a produção de colmos apresenta grande controvérsia.

Depois do carbono e do oxigênio, o nitrogênio é o elemento que as plantas, de uma maneira geral, necessitam em maior quantidade. A cultura de cana-de-açúcar apresenta alto acúmulo deste nutriente tanto em cana planta ($180\text{-}250 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) como nas socarias ($120\text{-}180 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) (ORLANDO-FILHO *et al.*, 1980; MACHADO, 1987). Em cana planta, atualmente, a prática da adubação nitrogenada não vem sendo recomendada pelos especialistas, enquanto que nas socarias a aplicação se faz necessária e varia muito em função do nível de manejo e do tipo de solo envolvido. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos com este nutriente, no entanto, o que vem se observando é a inconsistência da resposta à sua aplicação. Os motivos que levam a esta inconstância, ainda não foram totalmente esclarecidos pelo meio acadêmico.

O uso da vinhaça como fonte de nutrientes, matéria orgânica e água foi uma das grandes revoluções no manejo da cultura. Ela constitui-se no principal efluente das destilarias de álcool. Cada litro de álcool produzido gera cerca de 13 litros de vinhaça que até no início da década de 80 era depositada nos rios, poluindo-os. Atualmente toda a vinhaça produzida é reutilizada na adubação dos canaviais. Sua composição é variável e depende diretamente da diluição sofrida no processo de transporte até a área irrigada. Apesar de toda a revolução de seu uso, sua aplicação concentra-se nas áreas próximas às usinas. Nessas áreas, as quantidades aplicadas são superiores a $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que, a longo prazo, não se sabe ao certo de que forma pode afetar as características químicas do solo.

Neste capítulo, serão avaliadas a influência destes tratamentos em características produtivas da cultura de cana-de-açúcar. Os objetivos propostos foram:

- Estudar os efeitos da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça, na produção de colmos e biomassa vegetal;
- Avaliar os efeitos da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça em características tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Aspectos Históricos dos Estudos Sobre a Prática da Queima no Brasil

A queima da cana-de-açúcar e suas consequências de ordem agrícola, entomológica, industrial e econômica têm sido estudada por diferentes autores em todas as zonas açucareiras do mundo. Avaliando-se os estudos realizados até hoje, constata-se que os resultados e as opiniões dos especialistas, não são unâimes, tanto quantitativa como qualitativamente. É bem provável que a razão deste fato seja decorrente da diversidade de condições em que cada pesquisa vem sendo realizada, uma vez que o comportamento da cana dentro dessas experiências é função de um grande número de fatores como o clima, a temperatura, o local e a intensidade da queima, a variedade da cana, seu estado de sanidade e de maturidade, o sistema de cultivo e os tratos culturais adotados, além de outros que podem ser considerados secundários e/ou complementares. Como a prática da queima vem sendo realizada com freqüência, estudos que demonstrem o impacto desta prática na cultura e os possíveis reflexos em características do solo e no rendimento industrial da cana se tornam necessários.

As discussões a respeito da queima dos canaviais vêm de muito tempo e dividem opiniões de pesquisadores em todo o mundo, desde os primórdios de seu uso, até os dias de hoje. VALSECHI (1951), relata o trabalho de BONAME (1888) que já explicitava as divergências sobre o efeito da queima: “a fim de se executar os trabalhos necessários ao cultivo das socas, sem o incômodo causado pelas folhas que embaraçam o chão, existe um meio radical: é o ateamento de fogo. Esta prática apresenta certas vantagens e inconvenientes, predominando ora as primeiras, ora o segundo, em função das condições locais. Se o fogo, instantaneamente limpa o solo, facilitando a marcha dos instrumentos aratórios, também destrói, ao mesmo tempo a matéria orgânica que poderia ser transformada em húmus. Dessa queima resultam cinzas alcalinas que agem sobre a vegetação da cana mais prontamente do que se estivessem sob a forma orgânica. Entretanto o efeito de sua duração é curto. Pela queima desaparecem as vantagens da cobertura que mantinha o solo naturalmente fresco.” Note-se que a afirmativa data de 1888, e até hoje nos deparamos com o mesmo questionamento.

Já em 1919, BALDWIN, em estudos no Hawaii, afirmava que a prática da queima em áreas pequenas era muito dispendiosa devido ao tempo gasto fazendo aceiros e controlando o fogo durante a queimada. Outra grande preocupação da época é refletida por DOMINGUEZ (1923) que, em seus estudos, encontrou perdas de peso, inversão de sacarose, açúcares redutores e acidez, além da exsudação com maior intensidade para cana queimada, que se tornou mais grave após o quarto dia.

WALCOTT (1923), avaliando 50.000 canas em diferentes canaviais de Porto Rico, constatou que, em todos os pontos da Ilha, e nas mesmas variedades, sob precipitação similar, a infestação por broca aumentava de 5 a 10% onde queimava-se a palha. Este trabalho, na época, foi surpreendente pelo fato de a queima ser usada justamente para o controle da broca. VALSECHI (1951), comentando este trabalho, afirmava que, em alguns de seus estágios vitais, a broca não é destruída pelo fogo, ao contrário dos ovos de seu parasita, *Tricchogramma minutum*. Desta forma, este autor, em outro trabalho (WALCOTT, 1923), concluiu que a palhada e os resíduos da cana não deveriam ser queimados depois do corte dos colmos (na época, a cana era colhida crua pois acreditava-se que a queima prejudicava muito a fabricação do açúcar, e a palhada era queimada sobre o solo após a retirada da cana), pois este processo possibilita o aumento da infestação da broca uma vez que os ovos de seus parasitos são destruídos.

Em trabalho realizado por ROSENFIELD (1926), no Peru, este autor relata que: “É notável que os vales onde não se pratica a queima da cana são os únicos lugares onde não se encontra a broca. Conclui-se daí que o fogo destrói os inimigos naturais da broca”.

Outra justificativa para a queima do canavial, esta sim, antes do corte, (WEITHRICH, 1922) era que na cana Ubá (variedade mais plantada na época em Zululand) a queima da palha tinha por objetivos a remoção da palhada que era muito aderida ao colmo e dificultava e encarecia a colheita.

Para outro pesquisador (CAIRO, 1924), a queima da palhada, após o corte da cana, faz com que as socas brotem com mais vigor, enquanto BAYMA (1924) afirmava que esta prática é um erro, uma vez que destrói a matéria orgânica. Já em 1925, PESTANA lamentava que ainda perdurasse entre os lavradores da época, a mentalidade antiquada, antieconômica e prejudicial da queima da palhada, depois do corte dos canaviais, somente aconselhando o uso do fogo quando o canavial estava muito parasitado.

Para MAXWELL (1927) a queima é justificada pela concomitância entre a “falta de braços e a dificuldade do despalhe de certas variedades de cana, cuja palhada adere fortemente ao colmo”. Este autor ainda cita o relato da *Sugar Inquiry Comission* para o *Board of Trade and Industries* que recomendava que se fizesse de tudo para desestimular tal prática. Para isso, este órgão propôs, na época, que durante um período de 5 anos se pagasse um preço melhor para as canas despalhadas à mão, do que para as queimadas e, daí para diante, que se considerasse a queima como ilegal. Através do relato deste autor, pode-se constatar que a tentativa de tornar a prática da queima ilegal vem de longa data.

Outro aspecto que estimulou a queima no passado é o de que a manutenção da palhada no sistema por um tempo mais longo, poderia provocar a morte da cana em caso de incêndio após sua rebrota, discussão que vem sendo repetida erroneamente até hoje, com o crescimento da colheita de cana crua mecanizada.

Na opinião de MELO (1940) sendo a queima da palhada uma prática destruidora da matéria orgânica dos canaviais, deveria, em sua opinião, ser abandonada. Havendo ainda que se levasse em consideração que “a palhada conserva a umidade do solo, aquece-o, facilita a sua vida bacteriana, controla a erosão, é empecilho ao desenvolvimento de más ervas, além de abrigar os inimigos naturais das pragas dos canaviais”.

ROSENFIELD (1941) relata em seus estudos que na Louisiana, a prática da queima encontrou apoio no fato de haver necessidade de praticar-se o “windrowing”, pelo efeito desfavorável que as geadas exercem sobre a cana em pé e também por tornar mais econômica a colheita, embora a inversão de sacarose já fosse de conhecimento na época. Este mesmo autor, trabalhando no Egito, afirmava que quando a cana tinha baixo teor de sacarose (11%) e baixa pureza (77%), havia grande perda de açúcar aproveitável quando se efetuava a queima. Esta perda, relata o autor, seria mais do que suficiente para anular a economia da mão-de-obra na colheita e, o leve aumento do mel final, aos preços da época, não era mais do que uma compensação parcial pelo açúcar perdido.

Outra conclusão deste autor é bastante interessante e foi transcrita na íntegra: “do ponto de vista agrícola, a queima da cana representa perda de húmus, entretanto, sendo o corte da cana não queimada mais caro do que o da queimada, fica-se na dependência econômica destas operações: pagar mais pelo corte ou perder húmus.”

Outra preocupação da época é a descrita por CAMINHA FILHO (1942) na qual a palhada enleirada entre as fileiras de cana, decompõe-se lentamente, fornecendo matéria orgânica e conservando a umidade ao solo, evitando o crescimento de ervas daninhas e auxiliando o desenvolvimento de insetos parasitos da broca.

Algumas questões interessantes são relatadas por SPENCER (1943) “A cana não é danificada pelo fogo, porém deve-se cortá-la imediatamente porque se evitam assim perdas por deterioração, que se aceleram, ainda mais, no caso de chuva. Na maior parte dos contratos em Cuba, o fabricante recebe cana queimada sem desconto no preço, durante os 5 primeiros dias, porém, em caso de chuvas, pode rejeitá-las.”

Já no Brasil (IAA, 1945) a legislação açucareira previa e regulava os casos de queima da cana-de-açúcar da seguinte forma:

Art. 48º A cana queimada por fagulha de máquina da Usina recebedora não sofrerá qualquer desconto, cabendo ao fornecedor manter, às margens da via férrea, aceiros de largura conveniente. Também não sofrerá desconto a cana queimada em virtude do fogo em canaviais vizinhos, de propriedade da Usina.

Art. 49º A cana queimada por culpa ou negligência do fornecedor poderá sofrer os seguintes descontos:

a) de 10%, se for cortada e posta à disposição da Usina dentro de 24 h, a partir da queima.

b) de 20%, se for cortada e posta à disposição da Usina após 24 h e antes de 48 h, a partir da queima.

§ 1º. A usina não será obrigada a receber a cana que tiver mais de 48 h de queimada.

Art. 50º Nos casos de queima de cana, a usina recebedora promoverá todos os meios ao seu alcance para que sejam efetuados o corte e o transporte da cana queimada, no mais curto lapso de tempo possível, inclusive suspendendo, se for necessário, o recebimento de canas de outros fornecedores pelo prazo necessário.

CANABRAVA (1946), falando da prática da queima no Brasil, no século XVIII, politizava: “Explica-se a queima como parte da técnica agrícola de uma sociedade caracterizada pelas dificuldades de abastecimento, de mão de obra, de falta de aparelhamento adequado para a lavra da terra possibilitando uma considerável diminuição no custo de preparo do solo – Acreditava-se ainda, na capacidade revitalizante do fogo – a terra penetrada pelo fogo adquire fertilidade admirável.

Já ALMEIDA (1946), citado por VALSECHI (1951), afirmava que a queima da cana antes do corte, encarada sob o ponto de vista agrícola era prejudicial em todos os sentidos. Entretanto, era praticada por motivos de ordem econômica (falta de braços, mão de obra cara, soqueiras velhas e de pequeno rendimento, necessidade de moagem rápida, etc.). É ainda deste autor a afirmativa de que, “nos anos em que se pratica a queima, a brotação aparece mais vigorosa e o rendimento em toneladas de cana por unidade de área, não raro, ultrapassa os dados relativos às colheitas médias, anteriores. Ponderando-se, porém que a queima destrói a matéria orgânica do solo, deve-se condená-la, uma vez que, se praticada sistematicamente, em poucos anos conduzirá a um esgotamento das terras”.

E VALSECHI (1951) concluindo seu estudo diz: “A Prática da queima do canavial antes ou depois da colheita da cana, pelos inconvenientes agrícolas e industriais que apresenta, deve ser evitada sempre que for possível”.

Durante a primeira metade do século XX, as preocupações quanto à queima da palha na cultura de cana-de-açúcar, seja ela feita antes ou depois da colheita, tinha por principais objetivos controlar a incidência de pragas e eliminar os restos culturais para renovação do canavial. No entanto, já nesta época, a maior preocupação era com a deterioração da cana no que diz respeito às suas qualidades tecnológicas e industriais. A redução da matéria orgânica do solo também já era preocupação dos pesquisadores da época em todo o mundo assim como as preocupações com o custo da colheita. O que se pode concluir é que muitas das dúvidas e divergências quanto ao impacto da queima em características do solo já existiam desde àquela

época e parecem persistir até hoje, justamente por falta de uma avaliação à longo prazo desta prática. Outra ressalva que deve ser feita é que naquela época a falta de maquinário e tecnologia apropriados limitavam as práticas de manejo; hoje, este argumento já não é mais válido e alternativas conservacionistas são possíveis e viáveis desde que estudos relevantes possam realmente confirmar sua eficiência, trazendo maior tranquilidade para o agricultor, que pode então planejar a mudança gradual de seu sistema de manejo.

4.2. Efeitos Agronômicos da Aplicação de Vinhaça

A vinhaça constitui-se no principal efluente das destilarias de álcool. Cada litro de álcool produzido gera cerca de 13 litros de vinhaça, que até o início da década de 80, era despejada nos rios, poluindo-os. Atualmente, a vinhaça vem recebendo destino bem mais nobre, sendo uma importante fonte de fertilizante para os canaviais próximos às usinas. Sua composição é variável e depende diretamente da diluição sofrida no processo de transporte até a área irrigada, mas destacam-se de uma maneira geral, os seus altos teores de potássio e fósforo. Algumas vantagens deste subproduto segundo GLORIA & ORLANDO FILHO (1983) são a elevação do pH, aumento na disponibilidade de alguns nutrientes; aumento no poder de retenção de cátions pelo solo; aumento da capacidade de retenção de água; melhoria da estrutura física do solo; diminuição inicial e temporária da disponibilidade do nitrogênio no solo, com posterior aumento de sua disponibilidade condicionada por processos de imobilização/mineralização; aumento da população e atividade microbiana do solo, entre outras.

Na Tabela 1 encontram-se dados de diferentes autores sobre a composição química da vinhaça.

Tabela 1. Composição química da vinhaça de mosto de caldo, segundo vários autores. Adaptado de GLORIA & ORLANDO FILHO, 1983.

Elementos	Autores					Média± Desvio padrão
	1	2	3	4	5	
*N	0,28	0,28	0,35	0,25	0,26	0,28 ±0,04
*P ₂ O ₅	0,13	0,09	0,11	0,18	0,49	0,20±0,17
*K ₂ O	1,23	1,29	1,15	1,94	1,72	1,47±0,34
*CaO	0,69	0,13	0,76	0,56	0,17	0,46±0,29
*MgO	0,21	0,21	0,30	0,33	0,41	0,29±0,08
*SO ₄	0,61	-	-	-	2,03	1,32±1,0
* Mat. Org.	19,65	22,31	34,70	15,30	25,24	23,44±7,28
**Fe	-	-	110	45	51	69±35,92
**Cu	-	-	18	1	1	7±9,81
**Zn	-	-	2	3	2	2±0,58
**Mn	-	-	10	5	6	7±2,65

* kg m⁻³ - ** mg kg⁻¹

1= GLÓRIA *et al.* (1972, 1973); 2= RODELLA *et al.* (1980); 3=BOLSANELLO & VIEIRA (1980); 4= MEDEIROS (1981); 5=VASCONCELLOS & OLIVEIRA (1981). Todos citados em GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1984.

A quantidade de vinhaça aplicada na cultura depende de alguns fatores básicos como a sua composição; o tipo de solo (teor de argila, teor de matéria orgânica, teor de sais); o sistema de aplicação, e a própria disponibilidade da vinhaça e do sistema de irrigação (GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1984).

AGUJARO, citado por GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984), comparando cerca de 500 ha de cana submetidos ao manejo com e sem aplicação de vinhaça, indicou que a aplicação desta fonte propiciou um aumento de produtividade de cerca de 30% ao longo de três anos, em canaviais de diferentes idades.

ORLANDO FILHO *et al.* (1995), trabalhando com diferentes fontes de adubos sólidos e vinhaça, encontraram que $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ deste subproduto foram suficientes para suprir toda a demanda nutricional da cana, praticamente dobrando a produção de colmos em relação à testemunha absoluta. Estes resultados são importantes e indicam que em altas doses de fertirrigação com vinhaça, é dispensável a adubação mineral sólida em alguns casos. Outro aspecto a ser ressaltado é que experimentos com vinhaça, raramente consideram o efeito que a água contida na irrigação pode ter no aumento da produção de cana, sendo atribuído todo o mérito a ação fertilizante da vinhaça e não ao seu potencial de irrigação. Ainda neste trabalho, os autores consideraram o número de colmos por metro linear, o percentual de pol e de fibra. Foi constatado por este estudo que a vinhaça promoveu o aumento do número de colmos progressivamente até a dose de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, embora, com o aumento da dose, tenha havido uma redução nos teores de fibra e pol%.

Outro aspecto muito destacado dos possíveis efeitos da aplicação da vinhaça é a elevação do pH do solo. MATTIAZO & GLÓRIA (1985) sugerem que não é a presença da vinhaça a responsável pelo desaparecimento do alumínio e a conseqüente elevação do pH, conforme sugerido no trabalho de RODELLA *et al.* (1983), e sim que a elevação do pH é que causa o desaparecimento do alumínio. O mecanismo desta elevação do pH baseia-se no fato do meio se tornar redutor pela adição de vinhaça. Assim, é a redução química da matéria orgânica a responsável pela elevação do pH do solo, sendo a atividade microbiana responsável por esta redução, se tornando imprescindível para a elevação do pH. Desta forma, em áreas próximas às usinas onde a aplicação de vinhaça é intensa, excedendo $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a aplicação de calcário com vistas a elevação do pH ou a redução da saturação de alumínio tóxico, deve ser melhor considerada. Ao que parece, na cultura de cana, a grande eficiência da calagem diz respeito mais ao Ca e o Mg, favorecendo o desenvolvimento radicular, do que a saturação de alumínio propriamente dita (AZEREDO *et al.*, 1986).

Embora os estudos com vinhaça sejam extensos, seus efeitos à longo prazo, em características produtivas e tecnológicas na cultura de cana e químicas no solo, ainda não foram descritos.

4.3. Efeitos Agronômicos da Aplicação de Nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente mineral que as plantas, de uma maneira geral, necessitam em maior quantidade. A cultura de cana-de-açúcar apresenta alto acúmulo deste nutriente tanto em cana planta ($180\text{-}250 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) como nas socarias ($120\text{-}180 \text{ kg ha}^{-1}$ de N). Em cana planta, atualmente, a prática da adubação nitrogenada não vem sendo recomendada pelos especialistas, enquanto que nas socarias a aplicação é freqüente e varia muito em função do nível de manejo e do tipo de solo envolvido (URQUIAGA, 1997; ORLANDO-FILHO *et al.*, 1980). Este fato leva a crer que solos com impedimento do desenvolvimento radicular necessitam de mais nitrogênio que solos que não apresentam este problema (AZEREDO, 1999).

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos com este nutriente, no entanto, o que vem se observando é a inconsistência da resposta à sua aplicação. Os motivos que levam a esta inconstância, ainda não estão totalmente esclarecidos, mas acredita-se que possa haver uma relação direta com a distribuição das chuvas durante o ciclo vegetativo da cultura, que pode afetar não somente a disponibilidade de nitrogênio do solo como também a eficiência da fixação biológica de nitrogênio associada a cultura.

Variedades diferentes se comportam de forma diferente quanto à acumulação e resposta à fertilização com nitrogênio. É comum encontrar-se na literatura trabalhos que relatam a influência negativa da aplicação deste nutriente nos teores de sacarose, reduzindo portanto, a qualidade do caldo na indústria. Quando a quantidade de nitrogênio aplicada é elevada, a qualidade do caldo é afetada, resultando em menores teores de sacarose e baixa pureza, e em altos teores de aminoácidos e de açúcares redutores, estes, precursores da cor (HUMBERT, 1974). No processo de purificação dos caldos, o nitrogênio removido varia de 10-60%; em média, 30% do original. As proteínas, desnaturadas, são quase que totalmente precipitadas enquanto que os aminoácidos permanecem em solução. O ácido aspártico, por exemplo, forma com o cálcio, compostos complexos, aumentando o teor deste elemento nos caldos, resultando em mais incrustações. As pectinas permanecem no caldo, sendo precipitadas em pH ao redor de 8,0, condição que não se encontra em processos normais de clarificação do caldo. Estas substâncias condicionam ao meio alta viscosidade e provocam a formação de substâncias de cor escura. O processamento de canas imaturas, com baixas purezas prejudicam a recuperação de sacarose no processo de cristalização. Por exemplo, caldos com pureza de 80, 83 e 86, de mesma polarização e determinadas condições de processo, ensacam 106, 113 e 131 kg de açúcar e produzem 52, 43 e 35 kg de mel final por tonelada de cana moída, respectivamente. Ainda é importante ressaltar a dificuldade de se obter açúcar de melhor qualidade com esta condição de matéria-prima (STUPIELLO, 2001).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e Características do Solo e do Clima da Área Experimental.

Este estudo foi realizado na área da Usina Cruangi, Timbaúba, PE durante o período de 1983 até 2002. Está localizado numa zona de transição entre o agreste e a zona da mata, com precipitação média anual de 1083 mm, num solo Luvissolo Crômico Órtico (Bruno não Cálcico), cujas características químicas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química do solo da área no início do experimento (1983).

Prof. cm	N %	C %	MO	pH _{H₂O}	Al ⁺⁺⁺ Cmol _c dm ⁻³	Ca ⁺⁺ Cmol _c dm ⁻³	Mg ⁺⁺ Cmol _c dm ⁻³	K mg kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹
0-10	0,098	1,52	2,63	4,7	0,9	3,0	1,5	177	34,7
10-20	0,098	1,48	2,56	4,9	0,5	2,9	1,5	104	6,8
20-40	-	-	-	4,8	0,6	2,6	1,4	42	4,2

N - Método semimicro-Kjeldahl (ALVES *et al.*, 1994); C – Carbono orgânico método Walkley & Black; pH_{H₂O}; Al; Ca; Mg; K e P – EMBRAPA-SNLCS (1979).

5.2. Tratamentos e Delineamento Experimental

Os tratamentos consistiram na aplicação de dois níveis de nitrogênio (0 e 80 kg ano⁻¹ de N, na forma de uréia), dois níveis de vinhaça (0 e 80 m³ ha⁻¹), com e sem queima, em arranjo fatorial. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo considerado como parcela ao tratamento aplicação de vinhaça e sub-parcelas a aplicação de nitrogênio e a queima. Cada tratamento foi composto por 4 repetições. As parcelas (32), foram constituídas de 10 linhas (1,25 m entre linhas) com 10 m de comprimento. A cultivar de cana utilizada foi a CB 45-3.

O primeiro ciclo da cultura terminou em 1992, após oito cortes. Neste mesmo ano iniciou-se um novo ciclo, tendo-se o cuidado de distribuir os mesmos tratamentos nas mesmas parcelas do primeiro ciclo, objetivando a avaliação dos tratamentos por maior período de tempo. Estes dois períodos de tempo (1983-1992 e 1992-1999) serão considerados neste estudo como ciclos ou fases, visando facilitar a apresentação dos resultados.

5.3. Implantação e Condução do Experimento

Na área experimental, foram aplicados o equivalente a 2 Mg de calcário dolomítico 100% PRNT, antes do preparo do solo. A cada renovação do canavial, aplicou-se no fundo do sulco de cana-de-açúcar 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 50 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, como fonte de nutrientes. Doses de K foram aplicadas anualmente com base no acúmulo médio deste nutriente na cultura de cana. Nas parcelas em que se aplicava vinhaça, não era efetuada a adubação com potássio, uma vez que esta constitui-se em importante fonte deste nutriente.

Durante o período experimental, foram efetuadas capinas mecânicas e/ou químicas, de acordo com a necessidade.

5.4. Produção de Colmos, Matéria Seca e N-Total Acumulado pela Cultura de Cana-de-Açúcar

Na ocasião da colheita de cana (aos 18 meses para cana planta e anualmente em janeiro para as socas) foram cortadas quatro linhas centrais de cada parcela, totalizando 50 m², sendo que a parte aérea das plantas de cana-de-açúcar foi separada em colmo, palha seca e bandeira (folhas verdes). Este material foi pesado fresco, separadamente, e em seguida foram retiradas amostras para determinação da matéria seca e N-total, sendo o nitrogênio analisado pelo método de Kjeldhal (ALVES *et al.*, 1994), após cada colheita.

5.5. Análises Tecnológicas dos Colmos de Cana-de-Açúcar

A cada colheita, foram retiradas amostras de 10 colmos por parcela, selecionados aleatoriamente (COPERSUCAR, 1980). Estes colmos foram levados para o laboratório de análise de sacarose da Usina Cruangi, Timbaúba, PE e, neles, com auxílio de uma prensa hidráulica, foram avaliadas características tecnológicas da cultura da cana-de-açúcar, segundo as metodologias descritas em COPERSUCAR (1980). Cada amostra foi analisada em duplicata, assim os resultados obtidos são médias de 2 repetições, a partir da amostragem

de 10 colmos. As análises foram: Brix% –porcentagem, em peso, de sólidos solúveis aparentes, contidos no caldo; Pol% –porcentagem em peso da sacarose aparente; pureza% – porcentagem de sacarose (Pol%) contida nos sólidos totais (Brix%), do caldo de cana; fibra% – porção do colmo de cana-de-açúcar insolúvel em água, incluindo toda a matéria estranha que acompanha os colmos; PCC% – porcentagem de açúcar contido no caldo; Açúcar – produto final da usina de açúcar, constituídos por cristais de sacarose, envolvidos ou não por película de mel.

5.6. Análise Estatística

Os procedimentos estatísticos foram determinados com auxílio do pacote estatístico MSTAT-C, da Universidade de Michigan, USA e, constaram da análise de variância com a aplicação do teste F e, para as variáveis cujo teste F foi significativo, compararam-se as médias de tratamentos pelo teste de Tukey, ($p=0,05$).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Produção de Colmos

Os resultados da primeira fase (8 cortes), indicaram que a partir da segunda soca a manutenção da palha proporcionou sempre maior produtividade, superando em 23% o rendimento obtido com o tratamento de queima (Tabela 3). A resposta à aplicação de N não foi consistente, sendo significativa somente em três das sete socas. As aplicações de vinhaça promoveram pequenos aumentos de produtividade de colmos em cada ano, alcançando significância estatística apenas na colheita de 1987, entretanto, considerando-se que no tratamento com vinhaça não foi aplicado fertilizante potássico, deduz-se que a vinhaça foi uma importante fonte deste nutriente.

Tabela 3. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na produtividade média de colmos frescos ($Mg\ ha^{-1}$) na Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	Colmos ($Mg\ ha^{-1}$)														Média Geral	2001	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
Sem Vinhaça*	118,5	80,6	78,7b	48,2	54,1	42,8	43,8	46,9	64,2b	41,3	60,1b	40,8	42,3b	32,6b	19,9	53,6b	45,2b
Com Vinhaça	131,7	89,4	87,1a	49,0	62,2	48,2	49,5	55,5	71,6a	44,4	69,2a	46,6	60,4a	38,0a	22,4	60,9a	51,2a
Com Queima	128,2	86,9	77,9b	43,4b	54,4b	43,1	41,3b	39,8b	64,4b	42,4	54,4b	31,6b	45,8b	29,3b	16,6b	52,5b	48,7
Sem Queima	122,0	83,0	87,9a	53,6a	61,8a	47,8	51,8a	62,5a	71,3a	43,3	75,0a	55,7a	60,4a	41,2a	25,8a	62,3a	47,7
Sem Nitrogênio	130,9	84,2	77,2b	43,4b	58,5	44,8	44,5	46,9b	66,3	42,1	56,6b	35,9b	49,1	33,4	21,1	54,9	48,5
Com Nitrogênio	119,3	85,7	88,6a	53,6a	57,8	46,2	48,8	55,4a	69,4	43,6	72,7a	51,4a	57	37,2	21,3	59,9	47,9
<i>Interações **</i>														***S/V; S/N	30,9c		
														SN; C/N	50,7a		
														C/V; S/N	41,0b		
														C/V; C/N	52,0a		
														SN; C/Q	31,8c	31,7c	
														SN; S/Q	49,8b	49,8b	
														CN; C/Q	31,4c	31,4c	
														C/V; S/Q	61,6a	61,6a	
CV%	15,21	14,26	16,41	15,56	15,81	16,79	15,52	15,88		7,57	16,11	14,58	14,61	17,35	14,34	17,8	

* Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

** Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

*** S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

Na colheita de cana planta da segunda fase, em 1994 (janeiro), os rendimentos foram baixos, ao redor de 43 t ha⁻¹ de colmos, devido principalmente a uma reduzida precipitação pluviométrica (921 mm em 18 meses) nesse ciclo, comparado com a média anual da região de 1089 mm (Tabela 4).

No ano seguinte, na primeira soca, os rendimentos médios de colmos (65 t ha⁻¹) foram bem superiores aos da cana-planta. Neste ano, a não queima do canavial favoreceu a produção de colmos em cerca de 40%. Também, encontrou-se resposta significativa à aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio.

Na colheita da 2^a soca (janeiro de 1996), mais uma vez, a região foi castigada pela seca (807 mm), o que fez com que a produtividade média ficasse em torno de 43 t ha⁻¹. No entanto, as parcelas que não foram queimadas obtiveram uma produtividade 76% maior (Tabela 3) do que as parcelas que foram queimadas, fato que vem a comprovar a importância da manutenção da palha no sistema, como fonte de nutrientes e, principalmente, favorecendo a manutenção da umidade do solo em regiões de baixa precipitação pluviométrica. Mais uma vez, encontrou-se resposta A. adubação nitrogenada (43%), entretanto, a manutenção da palha no sistema teve efeito superior à aplicação de nitrogênio. A vinhaça mostrou-se eficiente no aumento da produtividade de colmos, sem alcançar significância estatística, sendo estatisticamente positiva, somente, quando se deixou de queimar a palha.

Na colheita de janeiro de 1997 (3^a soca) os resultados mostraram novamente um significativo efeito positivo da manutenção da palha na cultura (32%). Por outro lado, a vinhaça também promoveu um significativo aumento (43%) no rendimento de colmos, superior ao obtido em colheitas anteriores. Neste ano, não se observou resposta significativa à aplicação de N-fertilizante. Estes resultados vêm coincidindo com os obtidos na fase anterior, onde as respostas à adubação nitrogenada foram inconsistentes (OLIVEIRA *et al.*, 1994).

Em janeiro de 1998, foi realizada a colheita da 4^a soca. Pela Tabela 3, pode-se observar que os rendimentos foram baixos, no entanto, o tratamento sem queima apresentou produtividade cerca de 40% maior que o tratamento no qual queimava-se o palhiço antes da colheita. Neste ano, não foi observada resposta à aplicação de N-fertilizante. A aplicação de vinhaça neste ano favoreceu a produção de colmos em 16%.

Em janeiro de 1999, foi realizada a colheita da 5^a soca deste experimento. Como se verifica na Tabela 3, neste ano, a produção de colmos foi baixa, justificada pela queda no volume pluviométrico, que foi o menor dos últimos 40 anos (518 mm), o que acarretou em grandes reduções na produtividade, além da morte de algumas plantas nos tratamentos onde queimava-se o palhiço. Neste ano, a produtividade de cana colhida crua foi cerca de 55% maior que a cana colhida queimada. Mais uma vez, constata-se que em anos mais secos a manutenção da palha no sistema favorece, em muito, a produção de colmos, na região. Embora a produção de colmos do tratamento sem queima, também tenha sido baixa, o stand de plantas ainda se mantinha intacto, ao contrário das parcelas com tratamento de queima prévia, que foi dizimado (Figura 1). Este fato indica que a queima contínua do canavial acaba reduzindo sua longevidade, principalmente em regiões mais secas.

Nestes resultados observou-se, que com o passar dos anos, a manutenção da palha no sistema acarretou um incremento de produção cada vez maior. O que pode estar indicando que a manutenção do palhiço antes do corte pode estar favorecendo características químicas e físicas do solo, e, consequentemente, aumentando sua fertilidade e a produtividade da cultura. Estes resultados concordam com os obtidos por MENDOZA (1996) e SILVA (2000), que trabalhando com estes sistemas de manejo, em solos de tabuleiro no Espírito Santo, por seis anos consecutivos, encontraram um incremento médio na produção de colmos de cerca

de 8% para o sistema de cana crua. Estes resultados também são corroborados por PAO (1975), mas somente no estudo dos primeiros autores é que se encontrou alteração nas características químicas do solo em função da queima da palha da cana antes do corte.

Considerando as duas fases do experimento, destaca-se que somente em 5 das 14 colheitas houve efeito significativo da aplicação de nitrogênio. Em relação à manutenção da palhada, esta aumentou significativamente a produção de colmos em 9 das 12 colheitas, onde o tratamento foi efetivamente aplicado (excluindo-se aí as colheitas de cana planta). Na segunda fase do experimento, esta diferença ocorreu, em todas as 5 socas. Já em relação à vinhaça, a aplicação deste subproduto da indústria favoreceu a produção de colmos em 4 das 14 colheitas. Estes resultados são relevantes e indicam a importância e o potencial da manutenção da palhada no sistema para o incremento na produção de colmos. Outros aspectos merecem ser ressaltados neste estudo. Um deles é o da importância inerente que a palhada tem para a manutenção da fertilidade do solo, como será visto no capítulo II, mas o principal enfoque desta prática em regiões de regime pluviométrico irregular, como é o caso, diz respeito a manutenção da umidade do solo, que em estudo paralelo (dados não apresentados) indicaram que o solo sob palhada mantinha aproximadamente 2/3 a mais de água até 40 cm, do que o tratamento com queima prévia da palha.

Ainda em relação a estes resultados, observa-se que muito se discute também sobre a capacidade de rebrota das soqueiras da cana colhida crua. Muitos autores afirmam que a rebrota é deficiente ou retardada com este sistema de manejo, o que influenciaria negativamente a produção de colmos. Embora este parâmetro não tenha sido avaliado neste estudo de forma direta, o incremento contínuo da produção de colmos com a manutenção da palhada sobre o solo, é um forte indicativo que, pelo menos nas condições em que se realizou este estudo, esse problema não existiu, ou se existiu foi compensado, em muito, pelo incremento de produção proporcionado por esta prática.

No ano de 2001 foi colhida a cana planta da terceira renovação do experimento (Tabela 3). O corte da cultura foi efetuado aos 12 meses, justificando assim, a baixa produtividade encontrada. Neste ano, embora os tratamentos não tenham sido aplicados de forma direta e o solo tenha sido preparado com aração e gradagem, foi possível avaliar o efeito residual dos tratamentos aplicados nos anos anteriores. Dentre os tratamentos somente a aplicação de vinhaça incrementou a produção de colmos. A aplicação de nitrogênio ou a manutenção da palhada não influenciaram esta produção. Em relação a manutenção da palhada, que vinha apresentando incrementos de produção maiores que 50% no ciclo de cultivo anterior e não apresentou efeito residual nesta colheita, já era esperado, uma vez que aparentemente o preparo do solo estimula a mineralização da matéria orgânica do solo, minimizando assim, neste primeiro ano, os efeitos benéficos encontrados nos anos anteriores. Outro fato que influenciou na resposta dos tratamentos diz respeito a eliminação da cobertura do solo pela palha, após a incorporação deste material. Os dados apresentados até aqui indicam que o favorecimento da umidade do solo pela manutenção da palha foi um dos principais fatores de incremento da produção, principalmente nos anos mais secos. Estes resultados foram similares aos encontrados na renovação do ciclo anterior.



Figura 1. Tratamento sem queima (A e B) e queimada (C e D) após 6 cortes na segunda fase do experimento. Usina Cruangi, PE, 1999.

Os resultados aqui encontrados são um importante balizador para a discussão sobre os reais efeitos da prática da queima na cultura de cana-de-açúcar, principalmente com o incremento da colheita mecanizada de cana crua, que vem causando grande polêmica entre os técnicos do setor (ALVAREZ & CASTRO, 1999; OLIVEIRA *et al.*, 1999; SILVA, 2000; GAVA *et al.*, 2001). Segundo VALLIS *et al.* (1996) a colheita de cana crua mecanizada vem sendo realizada na Austrália há mais de 15 anos, sendo positiva em regiões onde os solos possuem boa drenagem. Já para GAVA *et al.* (2001), em trabalho realizado em São Paulo, o incremento da produção de colmos em função da manutenção da palhada no sistema não se concretizou na primeira soqueira. AUDE *et al.* (1993) encontraram efeito negativo desta prática na produção de colmos. Divergindo de outros trabalhos como os de WOOD (1991); CEDDIA (1996); BALL-COELHO *et al.* (1993); MENDOZA *et al.* (2000); RESENDE *et al.* (1998), que encontraram efeito benéfico da manutenção da palhada em até 43% de rendimento.

Analisando a literatura disponível sobre o assunto, o que se nota é que as variações na produtividade da cana-de-açúcar em função da presença da cobertura do solo por palhada, possivelmente estão relacionadas ao tempo de implantação do sistema sem queima, às condições termo-hídricas de cada região, à compactação do solo e variedade de cana-de-açúcar (MUCHOW *et al.*, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2000; VALLIS *et al.*, 1996; WEBSTER *et al.* 2000).

Em termos gerais, o efeito positivo da manutenção da palhada é mais intensificado ao longo das colheitas, uma vez que inicialmente (no primeiro ou segundo corte após o início da prática) os resultados são até mesmo negativos. Este fato também é relatado por diversos autores que trabalham com a prática de plantio direto em culturas anuais (BAYER *et al.*, 2000; FONTANELI *et al.*, 2000), o que parece indicar que num primeiro momento a palhada ocasiona uma imobilização de nutrientes, principalmente nitrogênio, do solo, que somente após o sistema atingir um novo equilíbrio dinâmico é que ficam disponíveis para as plantas.

Os resultados de produção de colmos nas 14 colheitas deixam pouca margem de dúvidas sobre o potencial que a manutenção da palha no sistema apresenta em aumentar a produtividade da cultura e, também, a longevidade do canavial, além de suscitar ainda mais a busca da justificativa científica da inconsistência da adubação com fertilizantes nitrogenados na cultura.

6.2. Análises Tecnológicas dos Colmos da Cultura de Cana-de-Açúcar

Nas Tabelas 5 a 9 são apresentados resultados dos efeitos da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características tecnológicas do caldo da cana, a partir de 1987. Nos anos de 1985 e 1986 o laboratório de análise de sacarose da Usina Cruangi, Timbaúba, PE, se encontrava em fase de implantação, passando a funcionar com maior capacidade a partir de 1987, quando foi adquirida uma prensa hidráulica, que possibilitou a maior otimização das análises. Este fato inviabilizou as análises tecnológicas da cana planta e da 1^a soca, na primeira fase do estudo.

6.3. Porcentagem, em Peso, de Sólidos Solúveis Aparentes (Brix)

Em relação ao Brix (%) (que representa a porcentagem, em peso, de sólidos solúveis aparente, contidos no caldo da cana) a partir de 1987, os valores oscilaram de ano para ano, sendo influenciados pelas condições climáticas de cada período (Tabela 4). De maneira geral, este parâmetro foi afetado de forma significativa pela aplicação de nitrogênio em 8 das 13

colheitas avaliadas, reduzindo seus teores. Este fato já vem sendo descrito na literatura, uma vez que a aplicação deste nutriente prolonga o período vegetativo da cultura, reduzindo a concentração de sacarose (ORLANDO FILHO, 1983). Houve interações entre os fatores vinhaça e nitrogênio, e queima e nitrogênio nos anos de 1990, 1997 e 1991, respectivamente. No entanto, estas não se apresentaram consistentes. Não houve interação tripla entre os fatores.

Os resultados aqui encontrados estão de acordo com aqueles obtidos por MENDOZA (1996), que constatou que o impacto da manutenção da palhada de cana-de-açúcar em características tecnológicas da cultura não foi significativo. Embora o método de coleta de amostras deste autor (amostragem antes da queima da palhada) tenha sido diferente do aqui utilizado, nota-se forte similaridade entre estes resultados.

6.4. Porcentagem, em Peso, da Sacarose Aparente (Pol%)

Em relação ao Pol% (porcentagem, em peso, da sacarose aparente, contidos no caldo da cana), mais uma vez a aplicação de vinhaça e a queima da palhada antes da colheita, não apresentou efeito significativo (Tabela 5). Sua influência somente foi observada nas interações Vinhaça x Queima; Vinhaça x Nitrogênio e Queima x Nitrogênio. No entanto essas interações se deram em anos isolados, não apresentando consistência. A influência negativa do nitrogênio se deu em 8 das 13 colheitas avaliadas, e, em quatro, a adição de nitrogênio apresentou interação negativa com as práticas da aplicação da vinhaça e da queima. Deve-se ressaltar que os resultados aqui obtidos para as características tecnológicas da cultura de cana discordam dos obtidos por HUMBERT (1974) que sugere que a umidade excessiva proporcionada pela manutenção da palhada no sistema pode favorecer uma menor qualidade da cana destinada A. indústria. No caso em questão, o clima seco predominante no período experimental pode ter reduzida a validade da afirmativa daquele autor. De uma maneira geral, os valores de Pol% estiveram acima dos valores médios indicados pela Copersucar (15%), o que era de se esperar devido ao regime pluviométrico da região, que apresenta estações bem definidas. E como a colheita é realizada na estação seca, a qualidade tecnológica da cana acaba sendo mais favorecida nesta região que no Centro-Sul do País.

Um fato relevante deste estudo em relação ao realizado por HUMBERT (1974) é que existem determinadas situações climáticas em que o regime pluviométrico é tão mal distribuído, que a manutenção da palhada acaba favorecendo um teor de umidade no solo suficiente para o bom desenvolvimento da cultura, mas não a ponto de prejudicar suas características tecnológicas pelo prolongamento do ciclo vegetativo da cultura. Assim, recomendações de manejo e generalizações devem ser evitadas uma vez que as recomendações e o maior potencial produtivo da cultura é afetado pelas condições locais predominantes.

Tabela 4. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem, em peso, de sólidos solúveis aparentes (Brix), contidos no caldo da cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	Brix (%)													Media geral	2001
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
Sem Vinhaça*	19,84	16,41	19,41a	19,55	17,81b	17,89	18,49	17,98	19,64	20,65a	19,62	19,1	17,99	18,82	18,0
Com Vinhaça	19,68	16,20	19,12b	19,22	18,12a	17,75	18,35	17,91	19,62	20,36b	19,71	18,85	15,21	18,48	18,0
Com Queima	19,74	16,04	19,62a	19,06b	18,25	17,75	18,41	17,72	19,38b	20,71a	19,57	18,68	18,09	18,72	17,9
Sem Queima	19,78	16,57	18,92b	19,70a	17,70	17,84	18,42	18,18	19,88a	20,30b	19,75	19,26	18,11	18,83	18,3
Sem Nitrogênio	19,82	17,31a	20,14a	19,78a	18,50a	18,32a	18,98a	18,07	20,26a	21,24a	19,47	19,18	18,59a	19,22a	18,3
Com Nitrogênio	19,70	15,31b	18,39b	18,98b	17,44b	17,31b	17,86b	17,83	19b	19,77b	19,86	18,76	17,61b	18,33b	17,5
<i>Interações **</i>															
	***S/V; S/N	20,19a	C/Q; S/N	18,60a									SN; S/N	19,09b	
	S/V; C/N	18,90b	C/Q; C/N	16,98b									SN; C/N	20,15a	
	C/V; S/N	19,37b	S/Q; S/N	18,03a									CN; S/N	19,85ab	
	C/V; C/N	19,05b	S/Q; C/N	17,65ab									CN; C/N	19,56ab	
CV%	2,25	4,55	4,54	2,67	4,24	4,08		4,86	4,1	2,91	3,27	5	5,09		5,0.

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$).

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio.

Tabela 5. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem, em peso, da sacarose aparente (Pol%), contidos no caldo da cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	Pol (%)													Media geral	2001
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
Sem Vinhaça*	17,67	19,41a	16,98	16,83	15,47	15,66	17,04	14,62	17,06	17,53	13,68	16,11	13,70	16,23	14,82
Com Vinhaça	17,48	19,12b	16,78	16,47	15,77	15,48	16,90	14,40	17,05	16,98	13,87	15,89	14,30	16,13	14,64
Com Queima	17,48	19,62a	17,22	16,39b	15,96a	15,59	17,04	14,39	17,07	17,64a	13,32b	15,73	14,03	16,20	14,59
Sem Queima	17,66	18,92b	16,55	16,91a	15,27b	15,55	16,81	14,62	17,04	16,87b	14,23a	16,27	13,97	16,16	14,87
Sem Nitrogênio	17,66	20,14a	17,84a	17,17a	16,20a	16,25a	17,55a	14,59	17,69a	18,24a	13,78	16,29	14,60a	16,70a	14,84
Com Nitrogênio	17,48	18,39b	15,92b	16,13b	15,03b	14,87b	16,31b	14,43	16,42b	16,27b	13,77	15,71	13,40b	15,65b	14,63
<i>Interações **</i>															
***S/V; C/Q	17,32ab	S/V; S/N	18,30a	17,62a	C/Q; S/N	16,71a		C/Q;	S/N	18,17a					
S/V; S/Q	18,01a	S/V; C/N	15,66c	16,04b	C/Q; C/N	14,45c		C/Q;	C/N	17,11a					
C/V; C/Q	17,64ab	C/V; S/N	17,38ab	16,73b	S/Q; S/N	15,79ab		S/Q;	S/N	18,32a					
C/V; S/Q	17,31b	C/V; C/N	16,18bc	16,21	S/Q; C/N	15,30bc		S/Q;	C/N	15,43b					
CV%	2,78	4,54	5,69	3,16	5,78	5,61		5,35	4,74	5,96	4,78	6,67	8,5		5,21

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$).

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio.

6.5. Porcentagem de Pureza do Caldo (PZA%)

Os dados relativos à pureza do caldo (Tabela 6), devem ser considerados com certo cuidado uma vez que as análises laboratoriais por amostragem, raramente representam exatamente o que acontece na indústria, por motivos que vão desde o tempo decorrido entre a colheita e o processamento industrial da cana (que é sempre maior que o tempo decorrido entre a amostragem no campo e a análise no laboratório), passando pelo maior teor de impurezas da cana que chega à usina através de caminhões, em relação às amostradas individualmente. Embora a análise da cana-de-açúcar em laboratório não apresente o valor real da matéria prima no momento da moagem, os resultados analíticos em condições similares, permite deduzir ao menos, de forma comparativa, como os tratamentos influenciaram nestas características. Na pureza do material, constata-se que os valores foram muito similares entre si e acima da média estimada pela Copersucar (85%). Considerando-se a ressalva mencionada acima, a aplicação de nitrogênio favoreceu o aumento da pureza do caldo em 6 das 14 colheitas realizadas, embora na média geral do experimento, não tenha apresentado diferenças significativas, assim como os tratamentos de aplicação de vinhaça e da queimada prévia do canavial. Embora tenha havido interações significativas entre os fatores Vinhaça x queima (1987) e queima x nitrogênio (1992, 1996), estas novamente não apresentaram consistência.

Quanto maior a pureza do caldo, maior a quantidade de açúcar produzido. STUPIELLO (2001), argumenta que para caldos com teor de pureza de 80; 82 e 86%, considerando-se a mesma polarização para todos, há a possibilidade de se produzir 106; 113 e 131 kg de açúcar por tonelada de cana moída. Este mesmo autor ainda ressalta que caldos com baixa pureza raramente possibilitam açúcar de boa qualidade.

Tabela 6. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem de pureza contido no caldo da cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	Pureza (%)													Media geral	2001
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
Sem Vinhaça*	89,02	87,85a	87,28	86,06	86,74	87,33	87,38	81,05	86,88	84,79	84,64	84,31	75,9	85,16	81,41
Com Vinhaça	88,79	86,92b	87,25	85,70	86,92	87,10	87,11	80,44	86,85	84,28	85,45	84,27	78,5	85,21	80,9
Com Queima	88,54b	89,47a	87,64	85,98	87,41a	87,44	87,75	80,94	88,11a	85,17	84,23b	84,16	77,34	85,54	81,3
Sem Queima	89,27a	85,30b	86,89	85,78	86,25b	86,99	86,75	80,55	85,62b	83,89	85,87a	84,42	77,06	84,82	81,02
Sem Nitrogênio	89,09	89,06a	88,53a	86,81a	87,52a	88,56a	88,27	80,69	87,31	85,89a	85,43	84,88	78,38	86,01	80,94
Com Nitrogênio	88,72	85,72b	86,00b	84,94b	86,14b	85,86b	86,23	80,8	86,42	83,18b	84,67	83,69	76,03	84,35	81,38
<i>Interações **</i>															
***S/V; C/Q	88,16b			C/Q;	S/N	89,78a		C/Q;	S/N	85,49a					
S/V; S/Q	89,89a			C/Q;	C/N	85,08b		C/Q;	C/N	84,86a					
C/V; C/Q	88,92ab			S/Q;	S/N	87,34b		S/Q;	S/N	86,28a					
C/V; S/Q	88,65b			S/Q;	C/N	86,63b		S/Q;	C/N	81,51b					
CV%	0,85	2,37	1,82	1,18	1,79	5,61		2,42	1,66	2,74	2,26	2,63	5,45		2,42

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$).

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

6.6. Porcentagem, em Peso, de Fibra dos Colmos de Cana-de-Açúcar (Fibra%)

Na recomendação da Copersucar a amplitude de variação destes dados deve oscilar entre 8,0 e 18,0%, com média de 11%. Os resultados aqui obtidos estiveram sempre acima da média, decorrentes do clima mais seco, tornando o material mais fibroso. Deve-se ressaltar, também, que em locais de topografia accidentada, como é o caso da região, o carregamento da cana para ser transportada até a Usina é dificultado, proporcionando maior quantidade de impurezas transportadas para a indústria, que por sua vez pode ser interpretada na análise como fibra, superestimando assim seu resultado (BOVI & SERRA, 1999). Através da Tabela 7, é possível constatar que as aplicações de vinhaça e de nitrogênio proporcionaram menores teores de fibra da cana, possivelmente por aumentarem o período vegetativo da cultura.

O conhecimento do teor de fibra de cana-de-açúcar é de fundamental importância para se efetuar os cálculos de capacidade de moagem da indústria. Sendo o principal constituinte do bagaço final, a sua quantidade determina o valor desse produto como combustível das caldeiras. Sob o ponto de vista industrial, incluem-se como fibra a matéria-estrana ou impurezas que acompanham o colmo no processo de carregamento mecânico, sendo muitas vezes denominada “fibra industrial”, para diferir do conceito botânico desse componente. Assim, esta informação é de fundamental importância para o planejamento estratégico da indústria, no que tange à produção de energia, principalmente na região Nordeste, onde esta produção pode converter-se em renda extra às usinas através da geração com a rede elétrica tradicional.

Nota-se pelos dados apresentados até então que estas características tecnológicas se mostraram influenciadas muito mais fortemente por características intrínsecas à variedade do que ao manejo aplicado.

6.7. Porcentagem de Açúcar nos Colmos de Cana-de-Açúcar (PCC%)

Em relação ao percentual de açúcar nos colmos (PCC%) (Tabela 8), mais uma vez constata-se o efeito negativo da aplicação de nitrogênio fertilizante, em 7 das 14 colheitas realizadas. Foram observadas interações entre os fatores vinhaça x queima; vinhaça x nitrogênio e queima x nitrogênio nos anos de 1987; 1989, 1990 e 1992, 1996, respectivamente. Nestas interações, destaca-se o efeito negativo da aplicação de N-fertilizante. Os tratamentos não tiveram grande influência nos teores de PCC da cana, mas como influenciaram fortemente a produção de colmos, a quantidade de açúcar total, acabou sendo influenciada, mesmo que de forma indireta. Novamente não foi observada interação entre os três fatores conjuntamente.

Estes resultados indicam que ao contrário dos obtidos por HUMBERT (1974), a manutenção da palhada não afetou de forma significativa o percentual de açúcar nos colmos.

Tabela 7. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem, em peso, de fibra dos colmos de cana-de-açúcar cana na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	Fibra (%)													Media geral	2001
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
Sem Vinhaça*	13,86	13,73a	14,20a	13,95a	14,13	16,47	14,39	13,33	13,61	14,31a	13,55	14,76	16,12	14,33	13,53
Com Vinhaça	13,89	13,59b	13,74b	13,56b	13,73	14,40	13,82	13,16	13,44	13,78b	13,62	14,69	15,41	13,92	13,45
Com Queima	13,96	14,28a	13,66b	13,79	14,09a	15,00	14,13	13,17	13,39	14,40a	14,6	15,90a	16,54a	14,40	13,37
Sem Queima	13,78	13,04b	14,29a	13,73	13,75b	15,86	14,08	13,32	13,67	13,70b	12,57	13,55b	14,99b	13,85	13,61
Sem Nitrogênio	14,07a	14,21a	14,23a	14,12a	14,25a	16,54	14,57a	13,42	13,90a	14,19	13,16	15,08	15,68	14,40	13,67
Com Nitrogênio	13,67b	13,11b	13,71b	13,40b	13,60b	14,32	13,64b	13,07	13,15b	13,91	14,02	14,38	15,85	13,85	13,32
<i>Interações **</i>															
	C/Q; S/N		14,27a				C/Q; S/N		14,77a	13,71b	C/Q; S/N	17,18a			
	C/Q; C/N		13,98a				C/Q; C/N		14,03ab	15,49a	C/Q; C/N	15,89ab			
	S/Q; S/N		14,23a				S/Q; S/N		13,61b	12,59b	S/Q; SN	14,18b			
	S/Q; C/N		13,21b				S/Q; C/N		13,78b	12,55b	S/Q; C/N	15,81ab			
CV%	3,23	4,20	2,67	3,75	2,34	26,96		4,53	4,28	4,15	8,81	7	8,82		4,24

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$).

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio.

Tabela 8. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na porcentagem de açúcar nos colmos de cana-de-açúcar (PCC) na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	PCC (%)															Media geral	2001
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
Sem Vinhaça*	11,762	10,040	14,427	11,890	13,783	13,716	12,57b	12,688	12,638	11,947	13,981	14,198	13,686	12,949	10,284	12,702	12,133
Com Vinhaça	11,397	10,527	14,258	11,621	13,733	13,158	12,90a	12,500	12,471	11,839	14,008	14,039	13,871	12,833	11,376	12,719	12,034
Com Queima	11,646	10,455	14,245	11,693	14,112a	13,412b	12,981	12,471	12,626	11,790	14,038	14,266	13,336	12,394b	10,443	12,663	11,975
Sem Queima	11,513	10,112	14,440	11,818	13,413b	13,831a	12,492	12,617	12,529	11,997	13,951	13,972	14,224	13,387a	11,216	12,785	12,191
Sem Nitrogênio	11,550	10,702	14,366	12,553a	14,481a	13,975a	13,140a	13,020a	12,973a	11,900	14,424a	14,809a	13,807	13,070	11,579	13,098a	12,150
Com Nitrogênio	11,610	9,865	14,318	10,962b	I3,034b	13,259b	12,330b	12,065b	12,180b	11,886	13,565b	13,429b	13,749	12,711	10,081	12,347b	12,016
<i>Interações **</i>																	
***S/V; C/Q S/V; S/N 14,142b S/V; C/N 14,802a 14,316a C/Q; S/N 13,272a C/Q; S/N 14,599ab																	
S/V; S/Q 14,722a S/V; C/N 12,764c 13,115b C/Q; C/N 11,670b C/Q; C/N 13,933b																	
C/V; C/Q 14,354ab C/V; S/N 14,160ab 13,634b S/Q; S/N 12,774a S/Q; S/N 15,018a																	
C/V; S/Q 14,163b C/V; C/N 13,306bc 13,402b S/Q; C/N 12,460ab S/Q; C/N 12,925c																	
CV%	3,25	4,21	2,71	6,62	5,63	3,04	5,75	5,11		5,92	4,44	4,65	4,42	7,93	20,16		5,15

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$).

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio.

6.8. Produção de Açúcar

Na Tabela 9, são apresentados os resultados de produção de açúcar em função dos tratamentos aplicados. A manutenção da palha no sistema vem favorecendo a produção de açúcar basicamente devido ao aumento do rendimento de colmos com esta prática. Desta forma, pode-se afirmar, que a produção de açúcar, acompanhou basicamente a produção de colmos, uma vez que os tratamentos não influenciaram no teor de açúcar da cultura.

Dentre as análises tecnológicas, constata-se que o efeito da aplicação de nitrogênio fertilizante foi negativo para diversas características. No entanto quando se considerou o teor de açúcar com a produtividade de colmos, estas diferenças não foram evidenciadas. Este fato indica que o efeito positivo da aplicação de fertilizante nitrogenado na produção de colmos foi maior que seu efeito em reduzir os teores de açúcar do caldo. Vale ressaltar que desde a primeira fase, a quantidade de açúcar produzida pela cana colhida crua, foi muito similar ao tratamento onde se aplicou 80 kg ha⁻¹ de N anualmente, após 8 cortes consecutivos. Estes resultados são ainda mais promissores quando se considera a produção de açúcar, somente a partir da colheita da segunda soca (1987), onde se constata o início do efeito dos tratamentos aplicados. Neste período, é possível observar que a manutenção da palhada no sistema favoreceu a produção de açúcar em 15% quando se exclui a colheita de cana planta. Ao considerar-se somente as soqueiras da segunda fase estes valores chegam a 59% e ao longo das 12 socas colhidas foi de 28%. Estes resultados indicam que o ganho é progressivo ao longo dos anos, acompanhando de forma direta, a produção de colmos.

Em relação à aplicação de vinhaça, esta favoreceu a produção de açúcar em 12% na primeira fase e em 16% na fase seguinte. Considerando todas as 12 socas esta aplicação favoreceu a produção de açúcar em cerca de 13%. Já a adubação nitrogenada na primeira fase favoreceu a produção de colmos em 3%, enquanto na segunda este percentual chegou a 21%, ficando a média do período experimental em 8,5%. Assim, a manutenção da palhada no sistema foi a prática agrícola associada a cultura de cana que mais favoreceu a produção de açúcar.

Pelo exposto, nota-se que a influência dos tratamentos é mais fortemente sentida pelas alterações nos níveis de produtividade do que nas características tecnológicas da cultura. No entanto vale ressaltar que o padrão de amostragem para obtenção destes dados sempre esteve próximo do ideal, respeitando a qualidade na coleta da amostra e principalmente num tempo mínimo entre o corte da cana no campo, o transporte a análise das amostras no laboratório. Sabe-se que, por condições diversas, o tempo decorrente entre o corte da cana e seu transporte e processamento na usina, nem sempre são tão ideais como os realizados neste trabalho. Assim deve-se levar em conta estudos de diversos autores que indicam que, como mencionado na revisão deste capítulo, este tempo é determinante para a qualidade tecnológica da cana. Assim fica a ressalva que trabalhando-se em condições ideais de tempo entre o corte e o processamento da cana na indústria o impacto dos tratamentos já foi elevado, mas provavelmente o resultado seria ainda mais relevante caso o tempo decorrido entre a queima do canavial e a moagem na usina fosse maior.

Tabela 9. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na estimativa da produção de açúcar em Mg ha⁻¹ na ocasião da colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE (1985 a 2001). Média de 4 repetições.

Tratamentos	Açúcar (Mg ha ⁻¹)																
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Média 1 ^a fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Media geral	2001
Sem Vinhaça*	13,9	8,1	11,4	5,7	7,4	5,9	5,5	5,9	8,0	4,9	8,4b	5,7b	5,6	4,2	2,1b	6,8b	5,5
Com Vinhaça	15,0	9,4	12,4	5,7	8,5	6,5	6,4	7,0	8,9	5,3	9,7a	6,5a	6,5	4,9	2,5a	7,6a	6,2
Com Queima	14,9	9,1	11,1b	5,1b	7,7	5,8b	5,4b	4,9b	8,0	5,0	7,6b	4,5b	4,2	3,6b	1,7b	6,5b	5,8
Sem Queima	14,0	8,4	12,7a	6,3a	8,3	6,6a	6,5a	7,9a	8,8	5,2	10,4a	7,7a	7,9	5,5a	2,9a	7,9a	5,8
Sem Nitrogênio	15,1	9,0	11,1b	5,5	8,4	6,3	5,8	6,1	8,4	5,0	8,2b	5,3b	5,0	4,4	2,4	7,0a	5,9
Com Nitrogênio	13,9	8,5	12,7a	5,9	7,5	6,1	6,0	6,7	9,2	5,2	9,8a	6,8a	7,1	4,8	2,2	7,4a	5,7
<i>Interações **</i>																	
***C/Q; S/N																	
C/Q; C/N																	
S/Q; S/N																	
S/Q; C/N																	
S/V; S/N																	
C/V; S/N																	
C/V; C/N																	
C/V; S/Q																	
CV%	16,3	18,4	15,9	17,1	17,1	17,6	15,7	17,8		8,0	16,2	15,8	15,2	19,9	21,9	18,7	

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

7. CONCLUSÕES

A manutenção da palhada no sistema favoreceu a produção de colmos de forma progressiva;

As respostas às aplicações de nitrogênio e vinhaça não foram consistentes ao longo das 14 colheitas efetuadas;

A aplicação de nitrogênio afetou negativamente as características tecnológicas da cana-de-açúcar, embora o ganho de produtividade de colmos proporcionado por esta prática tenha favorecido a produção de açúcar;

A aplicação de vinhaça e a manutenção da palhada no sistema não afetaram de forma consistente as características tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar, embora tenham afetado de forma positiva a produção de açúcar, em função do ganho de produtividade.

7.1. Considerações

Os resultados deste estudo, nas condições em que foi realizado, permitem concluir que a manutenção da palhada no sistema favorece a produção de colmos de forma progressiva com o passar dos anos. Isto indica que num primeiro momento a prática da colheita de cana crua pode até apresentar-se negativa no que diz respeito ao rendimento de colmos, mas à medida que o novo manejo se estabelece, o incremento de produtividade é contínuo e crescente quando comparado ao sistema de manejo de corte tradicional e deve ser estimulado.

Em relação às aplicações de nitrogênio e vinhaça os resultados ainda se mostram controversos, não havendo, neste estudo, uma resposta consistente a aplicação destes dois tratamentos. Pesquisas no sentido de buscar a compreensão deste fato se fazem necessárias, principalmente em relação ao nitrogênio, cuja aplicação é extremamente onerosa nos custos de manutenção da cultura.

As características tecnológicas da cultura de cana foram influenciadas somente pela aplicação de nitrogênio, uma vez que este nutriente sabidamente estimula o desenvolvimento vegetativo da cultura e consequentemente reduz a qualidade final do caldo. No entanto, como a aplicação de N acaba afetando a produção de colmos, mesmo que em magnitude variável e às vezes sem significância estatística, este efeito acaba não sendo refletido na produção de açúcar.

Através deste experimento é possível constatar também que algumas teorias existentes sobre a colheita de cana crua, como redução no perfilhamento, e falhas na rebrota das soqueiras, mesmo que existam, acabam sendo compensadas pelo incremento de produção proporcionado por esta prática que, é importante repetir, deve ser estimulada, uma vez que o nível tecnológico atual nos permite reverter qualquer argumento sobre aumento na incidência de pragas, doenças fúngicas, etc., mas a perda de matéria orgânica do solo é um fenômeno que a tecnologia ainda não foi capaz de compensar a curto prazo.

**8. CAPÍTULO II - FERTILIDADE, ESTOQUE E COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO
C ORGÂNICO DE SOLO DE FLORESTA NATIVA E SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM
TIMBAÚBA, PE.**

RESUMO

As práticas da queima, aplicação de vinhaça e nitrogênio são comuns na cultura de cana-de-açúcar. No entanto, estudos de longa duração são pouco encontrados na literatura. Neste trabalho realizado na Usina Cruangi, Timbaúba, PE, transição entre a Zona da Mata e o agreste daquele estado, objetivou-se avaliar o efeito à longo prazo (1983-1999) da aplicação de nitrogênio (0 e 80 kg ha⁻¹ na forma de uréia), da vinhaça (0 e 80 m³ ha⁻¹) e da queima do palhiço antes do corte (com e sem queima) na fertilidade do solo, estoque e composição isotópica do carbono do solo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2 x 2, com 8 tratamentos, 32 parcelas e quatro repetições. O experimento teve duas fases, a primeira de 1983-1992 e a segunda, após a renovação do canavial na mesma área experimental e com o mesmo delineamento, entre 1992-1999. Os resultados indicaram que a manutenção da palha no sistema solo-planta favoreceu o estoque de carbono do solo em mais de 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹, incrementando-o, em 16 anos, em mais de 10% em relação a vegetação nativa, e em 5% em relação ao tratamento convencional de queima prévia do canavial. Em relação ao estoque de nitrogênio do solo, este também foi afetado positivamente pela manutenção da palhada no sistema, porém em menor magnitude. Os efeitos da aplicação dos tratamentos na fertilidade do solo foram sentidos somente até 20 cm de profundidade. A manutenção da palhada favoreceu os teores de nitrogênio e carbono total do solo, enquanto a aplicação de vinhaça dobrou os teores de potássio disponível do solo. A quantidade de carbono de origem C₃ foi muito similar entre os diversos tratamentos quando se considerou o solo até 60 cm de profundidade, no entanto, na camada mais superficial (0-20 cm), a manutenção da palhada conservou o carbono do solo originário da floresta com mais eficiência. A deposição de carbono de origem C₄ no solo foi pequena em relação ao carbono total do solo, mas se deu de forma mais intensa no tratamento sem queima, possibilitando um incremento do carbono desta fonte de cerca de 4400 kg ha⁻¹, aproximadamente 1700 kg ha⁻¹ a mais do que o tratamento com queima prévia do palhiço, considerando os 16 anos do período experimental.

ABSTRACT

The practices of pre-harvest burning and the application of vinasse and N fertiliser are common in sugarcane cropping. However, there are few published long term studies. In this study carried out at the plantation of Usina Cruangi, Timbaúba, Pernambuco, in the transition zone between the “Zona da Mata” and the “Agreste” of this State, the objective was to investigate the long-term (1983 to 1999) effects of the addition of vinasse (distillery waste - 0 and 80 m³ ha⁻¹) and nitrogen fertiliser (0 and 80 kg N ha⁻¹), and two harvesting systems (with or without pre-harvest burning) on soil fertility and the stocks and isotopic composition (¹³C) of the soil carbon. The experiment was laid out in a 2 x 2 x 2 factorial design with 8 treatments and 32 plots in complete randomized blocks with four replicates. The experiment had two phases, the first from 1983 to 1992, and the second after the replanting of the crop in the same experimental area with the same layout from 1992 to 1999. The results indicated that the conservation of trash in the soil plant system favoured the accumulation of soil carbon by a mean of 300 kg C ha⁻¹ year⁻¹, increasing in 16 years by more than 10 % in relation to the native vegetation, and by 5 % with respect to the conventional practise of pre-harvest burning. With respect to the stock of nitrogen in the soil this was also affected positively by the conservation of the trash, although to a lesser extent. The effects of the application of these treatments on soil fertility were apparent to only 20 cm depth in the soil. Trash conservation increased the concentrations of nitrogen and carbon in the soil while the application of vinasse doubled the levels of exchangeable potassium. The quantity of carbon in the soil originating from the original forest vegetation (C₃) was very similar for all treatments when the amounts present to 60 cm depth were considered, although in the surface 20 cm trash conservation conserved the C₃ carbon more efficiently. The deposition of carbon of C₄ origin in the soil was small in comparison to the total soil C, but was greater in the treatment where trash was conserved. The increase of carbon from this source over the 16 year period was 4400 kg C ha⁻¹, approximately 1700 kg C ha⁻¹ greater than in the treatment with pre-harvest burning.

9. INTRODUÇÃO

Nos trópicos, de forma mais acentuada que em países de clima temperado, a matéria orgânica do solo (MOS) é um condicionante da CTC e da fertilidade dos solos. Na cultura de cana-de-açúcar, com o aumento do custo de produção, principalmente com mão-de-obra, passou-se a utilizar a queima para facilitar o manejo e reduzir os custos com a colheita. Esta queima, diferentemente da que ocorre em outros sistemas produtivos (pastagens, florestas, etc.), não afeta o solo de forma muito intensa, uma vez que a palhada fica presa aos colmos e praticamente não há deposição sobre o solo, afetando-o mais brandamente. Estudos indicam que no momento da queima o fogo atinge até 550°C, enquanto a temperatura do solo se altera somente em 3°C nos primeiros 5 cm. Assim, o efeito da queima é sentido mais diretamente pela não adição do material orgânico ao solo do que pela destruição da matéria orgânica e da biota do solo de forma direta, pelo fogo.

Com a queima da palha são eliminados cerca de 4500 kg por hectare de carbono, na forma de CO₂, além de nitrogênio (30-60 kg ha⁻¹) e enxofre (20-30 kg ha⁻¹). Neste sistema de manejo, portanto, a prática da queima corrobora para aumentar a exportação de nutrientes do sistema e, possivelmente, a redução do teor de MOS devido ao uso contínuo do solo, sem adição de restos culturais da parte aérea, ficando esta adição restrita somente à contribuição do sistema radicular.

São poucos os estudos que avaliam este impacto à longo prazo, na cultura.

A pesquisa sempre caminha em direção a satisfazer as necessidades da humanidade, e uma demanda que vem surgindo atualmente no meio acadêmico diz respeito ao impacto que a colheita de cana crua pode ter no estoque e na dinâmica do carbono no solo, o que pode influenciar, mesmo que em magnitude questionável, características ambientais na região adjacente às áreas queimadas, e também o planeta como um todo. Neste contexto, a técnica de abundância natural de ¹³C se mostra como uma importante ferramenta para se saber o real impacto do manejo efetuado em cultivos agrícolas, comparados entre si e contra um padrão natural, no caso, o próprio solo sob vegetação nativa de uma área adjacente ao cultivo.

Neste capítulo se fará uma análise do impacto da queima e também de aplicações de nitrogênio e vinhaça em características químicas do solo, e, também, uma curta estimativa do impacto no meio ambiente das práticas de manejo utilizadas usualmente na cultura. Para tanto foram propostos os seguintes objetivos:

- Avaliar o efeito do manejo na cultura de cana-de-açúcar sobre o estoque de carbono e nitrogênio do solo;
- Comparar o efeito do manejo da cultura na composição isotópica do carbono do solo sob cultivo de cana-de-açúcar com a vegetação nativa da região;
- Avaliar o impacto do manejo da cultura na fertilidade do solo e o potencial de impacto no meio ambiente.

10. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

10.1. A Ciclagem de Nutrientes

Após a retirada da vegetação natural, o uso do solo para fins agrícolas, tem frequentemente mostrado alterações nas propriedades químicas e biológicas do solo, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. A interação destas condições estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000).

Estas alterações afetam, num primeiro momento, a biomassa microbiana do solo, que é considerada por JENKINSON & LADD (1981) como a “parte viva da matéria orgânica do solo” que, por conseguinte, acaba afetando toda a dinâmica de nutrientes do solo (SANTOS et al 1999). Portanto, a MOS acaba sendo afetada em maior ou menor intensidade em função da cultura e do manejo empregado na área, portanto seu novo estado de equilíbrio estará ligado diretamente a estes fatores (CERRI *et al.*, 1985; 1986).

Estas alterações no conteúdo da MOS afetam de forma direta a fertilidade do solo, uma vez que esta é uma grande fonte de nutrientes e que, principalmente nos solos tropicais, destaca-se por sua importância na determinação da capacidade de troca catiônica do solo (SANTOS *et al.*, 1999).

Em ecossistemas naturais em equilíbrio, as entradas de nutrientes no solo originárias, do intemperismo e da decomposição de resíduos orgânicos são equivalentes as perdas originárias da lixiviação das bases, da assimilação pelas plantas e da mineralização da matéria orgânica (FOLSTER & KHAMA, 1997). Esta condição onde a ciclagem de nutrientes não sofre alterações bruscas é conhecida por equilíbrio dinâmico.

Em sistemas agrícolas ocorre desequilíbrio na ciclagem de nutrientes onde os processos de extração pelas plantas e perdas por erosão são maiores do que as entradas de nutrientes oriundos dos processos biogeoquímicos, principalmente pela alteração dos minerais primários e da adubação, levando o solo a uma redução de seu conteúdo de matéria orgânica. Este desequilíbrio acarreta em uma diminuição na agregação do solo, principalmente em função das sucessivas perturbações causadas pelo cultivo e da redução dos agentes ligantes orgânicos (STEVENSON, 1982; ALBERTINE, 1983; LONGO & ESPÍNDOLA, 2000). As principais consequências sobre as propriedades físicas do solo estão relacionadas ao aumento do processo de erosão, diminuição da infiltração e retenção de água, redução da aeração e aumento da temperatura nas camadas superficiais do solo. A interação destes fatores acarretará na diminuição de sua fertilidade (CERRI *et al.*, 2002; VITOUSEK & SANFORD, 1986).

Considerando suas propriedades químicas, pode-se dizer que a mineralização dos agentes ligantes orgânicos do solo causam a ruptura dos agregados liberando nutrientes anteriormente indisponíveis às plantas. Esta etapa ocorre logo após a mudança no uso da terra, que posteriormente acaba dando início a um período de diminuição do fluxo denutrientes no solo, o qual está relacionado à redução do teor de matéria orgânica (BRADY & WEIL, 1999).

Neste sentido, a degradação da matéria orgânica do solo acaba tendo papel decisivo na manutenção da produtividade do agrossistema. Esta degradação está Condicionada de forma direta a espécie utilizada no cultivo e principalmente ao manejo empregado, existindo portanto, fortes variações, entre culturas temporárias e perenes e semiperenes, e ainda entre espécies do mesmo gênero.

10.2. Discriminação Isotópica de ^{13}C entre Plantas C₃ e C₄

O uso de isótopos como traçadores na agricultura vem sendo feito há mais de duas décadas. Entre eles, destacam-se o nitrogênio (15) e o carbono (13), que por serem isótopos meta-estáveis não apresentam radioatividade além de apresentarem longa taxa de meia-vida. Em relação a composição atmosférica do carbono na natureza, seus dois isótopos estáveis apresentam 98,9% de carbono de massa 12 (^{12}C) e 1,1% de carbono com massa 13 (^{13}C). O que se observa é que a abundância de ^{13}C é menor em plantas do que na atmosfera. Essa constatação indica que ocorre uma discriminação isotópica de ^{13}C durante os processos de incorporação do carbono na biomassa vegetal (FARQUHAR *et al.*, 1989).

A determinação de ^{13}C nas plantas é feita através da comparação da relação molar entre os carbonos de peso molecular 13 e 12 e o resultado é comparado. Há um padrão internacional de rocha calcária denominada *Pee Dee Belemnite* (PDB) e é expresso em unidades de $\delta^{13}\text{C}$. Como o valor resultante desta relação é muito pequeno, convencionou-se que seria expresso em partes por mil (‰).

A composição isotópica das plantas em relação ao PDB é expressa pela equação:

$$\delta^{13}\text{CPDB} (\text{‰}) = \{(R_{\text{amostra}}/R_{\text{PDB}}) - 1\} \times 1000$$

Onde:

$$R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$$

Como a relação molar $^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ das plantas é inferior à do PDB, o $\delta^{13}\text{CPDB}$ das plantas é negativo e oscila entre -12 e -35 ‰ $\delta^{13}\text{CPDB}$, sendo determinante para estes valores, o ciclo fotossintético da planta (FARQUHAR *et al.*, 1989).

As plantas que apresentam ciclo de Calvin (C₃) fixam o CO₂ atmosférico através da enzima ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) enquanto as C₄ fixam através do fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP carboxilase). A Rubisco apresenta uma menor afinidade pelo CO₂, discriminando o isótopo de ^{13}C em relação ao ^{12}C , que é mais leve. Esta discriminação é muito mais intensa do que a feita pela PEP. Assim, as plantas de ciclo C₃ discriminam mais o ^{13}C (apresentam valores de composição isotópica menores em módulo) que as plantas de ciclo fotossintético C₄.

A vegetação arbórea nativa da região tropical, em geral, apresenta predominância de plantas de ciclo C₃, o que confere ao solo sob esta vegetação, valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a -27‰. Este valor difere muito de plantas de ciclo C₄ como a cana-de-açúcar (-13‰). Estas diferenças permitem inferências sobre o impacto do manejo agrícola na dinâmica e no estoque de carbono do solo, possibilitando avaliações sobre a taxa de perda da matéria orgânica original e a taxa líquida de ingresso da nova fonte.

Neste sentido, o cálculo da influência do manejo sobre o estoque de carbono existente no solo é feito comparando-se o enriquecimento isotópico do solo sob floresta nativa (tido como padrão) e dos diferentes tratamentos do solo cultivado com cana-de-açúcar.

10.3. O carbono, a Agricultura e o Meio Ambiente

Embora a fertilidade e a conservação do solo sejam a prioridade dos estudos envolvendo profissionais de ciências agrárias, nos últimos anos, outra preocupação vem se tornando comum para pesquisadores de todo o mundo: o aquecimento do planeta. Este aquecimento, segundo os cientistas, é derivado da alta emissão de gases do efeito estufa (GEE) (CO_2 , NO_x , CH_4), para a atmosfera, após a revolução industrial. Dentre estes gases, o CO_2 destaca-se de forma quantitativa como o maior causador deste problema, justamente por ser o gás de maior emissão atualmente. Assim, muitos autores têm sugerido que o setor agropecuário pode colaborar para mitigar os efeitos das emissões destes gases através de manejos conservacionistas que possibilitem o incremento de carbono no solo (PRIMAVESI, 1987). O conceito de seqüestro de C engloba tanto a captura de carbono da atmosfera quanto a prevenção de emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas. Existem duas maneiras básicas de abordar a questão da fixação de carbono em ecossistemas terrestres:

Proteção dos ecossistemas que estocam carbono para que esse processo seja mantido ou até mesmo incrementado (Amazônia por exemplo) e; Manipulação dos ecossistemas para aumentar a fixação de carbono (Plantio direto e/ou reflorestamento de áreas degradadas ou tradicionalmente nuas e pastagens produtivas).

O total de carbono armazenado em um sistema reflete o balanço, à longo prazo, entre a absorção da planta, a fixação de carbono no solo e as perdas por respiração e decomposição.

A partir da Eco-92 (Conferência mundial sobre ecologia e meio ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992), países de todo o mundo vem tentando chegar a um acordo sobre a redução das emissões de GEE através de mecanismos de desenvolvimento limpo e emissões de certificados de redução de emissões, incluindo aí, o seqüestro de carbono que vem sendo muito propalado no meio agro-florestal.

A partir da elaboração do Protocolo de Kyoto novas perspectivas para a captação de recursos internacionais para projetos que colaborem com a redução dos impactos causados pelo efeito estufa foram surgindo. Neste contexto a cultura de cana-de-açúcar apresenta grande potencial de captação de carbono, principalmente evitando novas emissões através da substituição de combustíveis fósseis pelos resíduos da indústria sucroalcoleira e produção do álcool combustível (RIBEIRO & ROSA, 1998; RESENDE *et al.*, 2000).

Atualmente intensos esforços estão sendo feitos em nível internacional, com a finalidade de diminuir a emissão dos GEE. Para tanto, diferentes metas de redução ou limitação de emissões de carbono foram estabelecidas politicamente por cada país. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos vários “mecanismos de flexibilidade” autorizados pelo Protocolo de Kyoto (dezembro de 1997) e consiste na certificação de projetos de redução de emissões e seqüestro de carbono em países em desenvolvimento e a posterior venda desses certificados para serem utilizados pelos países desenvolvidos como uma forma de atingir o cumprimento de suas metas. Assim, práticas conservacionistas que mantenham ou incrementem o estoque de carbono no solo ou que possibilitem uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis podem se tornar muito atrativas também do ponto de vista econômico.

10.4. Importância da FBN para o Sequestro de Carbono

Admitindo-se o potencial de redução nas emissões de CO₂ para a atmosfera, via seqüestro de carbono, seja pela parte aérea dos vegetais ou pela incorporação na matéria orgânica do solo, a fixação biológica de nitrogênio ocupa papel de grande destaque. Na fabricação de um megagrama de fertilizante nitrogenado é necessária uma energia equivalente a aproximadamente 15000 Mcal (o que equivale 820 kg de C), que normalmente é obtida via queima de combustíveis fósseis (IPCC, 1996; MACEDO, 1998, KESSEL, 2000; LAL, 2002). Neste sentido, a utilização de espécies vegetais para o seqüestro de carbono que sejam capazes de receber parte, ou todo o nitrogênio necessário ao seu desenvolvimento via FBN é de fundamental importância, não somente do ponto de vista ambiental como do ponto de vista econômico, uma vez que o nitrogênio é, para a maioria das espécies, o elemento mineral de maior demanda. Neste aspecto a cultura de cana-de-açúcar ocupa papel de grande destaque, pois nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar desenvolvidos no Brasil, tanto em Campos (RJ) nos anos 40, como nos programas conduzidos mais recentemente pelo Planalsucar, Copersucar (SP) e atualmente pelas Universidades Federais, as aplicações de fertilizantes nitrogenados sempre foram modestas (60 a 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N), e as cultivares selecionadas sempre produziram satisfatoriamente nestas condições, raramente mostrando grandes respostas às adições deste nutriente (AZEREDO *et al.*, 1986). É bastante aceitável que, devido a estas baixas doses de N-fertilizante aplicadas, os pesquisadores brasileiros contribuíram e vêm contribuindo em grande parte, para aumentar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura de cana (URQUIAGA *et al.*, 1997). Neste contexto, a cultura de cana-de-açúcar, desde que implementado um manejo mais racional, pode se tornar ainda mais atrativa, pois além de seu potencial de produção de biomassa congrega também grande potencial de fixação biológica de nitrogênio associativa (DÖBEREINER, 1961, LIMA *et al.*, 1987, URQUIAGA *et al.*, 1992, YONEYAMA, 1997, RESENDE, 2000, POLIDORO *et al.*, 2000).

11. MATERIAL E MÉTODOS

11.1. Histórico da Área e Implantação do Experimento

A usina Cruangi é uma tradicional produtora de cana da Zona da Mata Pernambucana. Sua excelência produtiva não se restringe somente ao seu tempo de existência na região, mas principalmente pelo seu relevo ondulado e pela disposição à utilização de inovações tecnológicas e alternativas produtivas que viabilizem este cultivo agrícola naquelas condições. Assim, na década de 80, profissionais da Embrapa Agrobiologia foram procurados pelo dono da Usina com o intuito de avaliar práticas que possibilitassem um melhor desempenho de suas lavouras. Foi iniciado em 1983 este projeto com a implantação de um experimento avaliando os efeitos da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça, sendo selecionada uma área que havia sido desmatada há algumas décadas para o cultivo de cana-de-açúcar, sobre a qual implantou-se este experimento.

O experimento teve duas fases a primeira de 1983 até 1992 e a segunda de 1992 até 1999. Durante o período experimental o manejo se deu conforme descrito no capítulo I, quantificando-se toda a fitomassa produzida pela cana anualmente.

11.2. Amostragem e Preparo das Amostras de Solo

Foram retiradas amostras do solo de cada parcela nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm em 1983 e em 1999, no início e no fim do experimento. O sistema de amostragem foi em zigue zague, retirando-se com auxílio de um trado tipo holandês, três sub-amostras por parcela, em cada uma das profundidades descritas acima. Estas amostras foram secas ao ar e peneiradas (2mm) determinando-se então a terra fina seca ao ar (TFSA), que posteriormente foi acondicionada em câmara fria e armazenada até a ocasião da análise.

Na mesma ocasião, foram retiradas amostras para determinação da densidade aparente do solo, objetivando assim estimar o estoque total de carbono do solo, seguindo metodologia descrita em EMBRAPA-SNLCS (1979). Estes mesmos processos descritos acima foram feitos numa área de floresta nativa adjacente à área experimental, visando, de forma comparativa, avaliar os efeitos dos tratamentos na dinâmica e no estoque de carbono do solo sob manejo de cana-de-açúcar.

Para análise de carbono orgânico total foram retiradas pequenas subamostras das amostras previamente peneiradas, e este material foi triturado em moinho de rolagem até a pulverização, seguindo metodologia descrita por SMITH & MYUNG (1990).

11.3. Análise de Carbono do Solo

As amostras depois de processadas foram analisadas para carbono por combustão total com auxílio de um analisador CHN, Carlo Erba para determinação do estoque de carbono no solo na floresta nativa e nos diferentes manejos do solo (SISTI, 2001).

11.4. Análise do Enriquecimento Isotópico de ^{13}C

As mesmas amostras descritas no item anterior foram analisadas, com auxílio de um espectrômetro de massas Finnigan Matt Modelo Delta Plus, para determinação da abundância natural de ^{13}C das amostras de solo retiradas em 1999, nas profundidades já descritas.

11.5. Estoque de Carbono do Solo

O estoque de carbono do solo foi determinado associando-se o teor de C orgânico encontrado nas diferentes profundidades com a sua respectiva densidade aparente. No entanto em todo sistema agrícola, a movimentação do solo e o tráfego de máquinas nos processos de preparação do solo, tratos culturais e/ou colheita, provocam uma compactação das camadas mais superficiais. Assim, seguindo recomendação sugerida por diversos autores (VELDKAMP, 1994; McNEILL *et al.*, 1997; SISTI, 2001) para comparar estoques de nutrientes no solo sob sistemas agrícolas e/ou vegetação natural, as camadas de solo a serem comparadas devem possuir a mesma massa de solo. Assim igualou-se a massa do solo sob cultivo de cana-de-açúcar à massa de solo da vegetação nativa, quando objetivou-se comparar o estoque de carbono nos dois sistemas.

O processo de ajuste da massa do solo se deu camada a camada seguindo a diferença entre a densidade aparente do solo de cada camada. Visando entender melhor o que foi feito segue o Anexo I, onde é apresentado um exemplo em que se calcula a massa de um solo avaliado até 30 cm de profundidade e dividido em duas camadas 0-10 e 10-30 cm.

11.6. Estoque de Carbono do Solo Proveniente de Plantas do Ciclo C₃ e C₄

A vegetação nativa da região apresenta predominância de plantas de ciclo C₃, o que confere ao solo sob esta vegetação, valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a -27‰. Este valor difere de plantas de ciclo fotossintético C₄ como a cana-de-açúcar (-13‰). Estas diferenças permitem inferências sobre o impacto do manejo agrícola na dinâmica e no estoque de carbono do solo, possibilitando avaliações sobre a taxa de perda da matéria orgânica original e a taxa líquida de ingresso da nova fonte.

Neste sentido, o cálculo da influência do manejo sobre o estoque de carbono existente no solo é feito comparando-se o enriquecimento isotópico do solo sob floresta nativa (tido como padrão), que se encontrava próximo à área experimental, e dos diferentes tratamentos do solo cultivado com cana-de-açúcar. Pela equação abaixo é possível determinar o percentual de carbono derivado da vegetação original do solo.

$$X = \left(\frac{\delta^{13}\text{C mistura} - \delta^{13}\text{C}_4}{\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_4} \right) \times 100$$

Onde:

$\delta^{13}\text{C}$ mistura = Composição isotópica do carbono do solo sob atividade agrícola. Reflete a mistura do carbono originário da floresta nativa (plantas C₃) e do carbono incorporado pelo cultivo agrícola (cana-de-açúcar C₄);

$\delta^{13}\text{C}_3$ = Composição isotópica do carbono da matéria orgânica do solo derivado da vegetação nativa (C_3);
 $\delta^{13}\text{C}_4$ = Composição isotópica do carbono dos resíduos das plantas da atividade agrícola (cana-de-açúcar - C_4);
 X = Contribuição percentual de carbono derivado de resíduos de plantas C_3 (carbono original do solo) em mistura de carbono derivados de plantas C_3 e C_4 ;
 $100-X$ = contribuição (%) de carbono derivado de resíduos de plantas C_4 , que influenciaram na composição do carbono total do solo.

- Notar que todos os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são expressos em $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰).

A aplicação desta equação possibilitou determinar a alteração na composição isotópica de carbono no solo em função da introdução e do manejo aplicado à cultura de cana-de-açúcar.

11.7. Análise de Rotina do Solo

No início do experimento (1983) e no término do segundo ciclo (1999), foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm de cada parcela e da vegetação nativa adjacente ao experimento, conforme descrito no capítulo anterior. O processamento das amostras foi o mesmo descrito anteriormente e as análises de solo feitas foram: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, Al^{+++} , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , P , N e C , seguindo metodologia proposta no manual de métodos da EMBRAPA-SNLCS (1979).

12. RESULTADOS E DISCUSSÃO

12.1. Características Químicas do Solo

Considerando-se as propriedades químicas do solo observaram-se mudanças nos teores de N-total e cátions trocáveis, promovidas pelos diferentes tratamentos (Tabela 10). A queima provocou uma queda significativa no teor de N-total na camada superficial do solo (0-20 cm). Considerando-se a densidade aparente do solo, pode-se dizer que este fator só foi influenciado pelo corte de cana crua e na profundidade de 010 cm, onde houve uma redução em seu valor, acarretando por consequência, uma maior porosidade do solo (Tabela 10).

Tabela 10. Influência da queima e aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características químicas e na densidade aparente de um solo Bruno não cálcico cultivado com cana de açúcar durante 16 anos (1983-1999), na usina Cruangi, Timbaúba, Pernambuco. 0-10 e 10-20 cm.

Tratamentos	pH	N	MO	C	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P	K	Densid. aparente
0-10 cm										
Sem Vinhaça	4,4b	0,100	2,2	1,28	0,9a	2,3	1,2b	14,9	131b	1,30
Com Vinhaça	4,9a	0,103	2,1	1,22	0,3b	3,2	1,6a	14,4	276a	1,34
Com Queima	4,7	0,094b	2,0	1,16	0,6	2,7	1,3	12,3	217	1,36a
Sem Queima	4,6	0,109a	2,3	1,33	0,7	2,8	1,5	16,9	190	1,31b
Sem Nitrogênio	4,8a	0,099	2,1	1,22	0,4b	2,9a	1,6a	15,7	219	1,33
Com Nitrogênio	4,5b	0,105	2,2	1,28	0,8a	2,5b	1,3b	13,6	189	1,33
<i>Floresta</i>	6,3	0,329	2,7	1,57	0	20	6,6	7	318	1,070
10-20 cm										
Sem Vinhaça	4,2b	0,092	2,0	1,16	1,0a	2,2	0,8b	8,7	61b	1,42
Com Vinhaça	4,6a	0,096	2,1	1,22	0,6b	2,6	1,2a	9,8	176a	1,40
Com Queima	4,4	0,091	1,9a	1,10a	0,9	2,4	1,0	7,0	121	1,41
Sem Queima	4,4	0,096	2,2b	1,28b	0,8	2,5	1,1	11,0	117	1,42
Sem Nitrogênio	4,5a	0,093	2,0	1,16	0,7	2,7	1,2a	11,2	125	1,43
Com Nitrogênio	4,3b	0,094	2,1	1,22	1,0	2,2	0,9b	7,4	112	1,40
<i>Floresta</i>	6,2	0,2889	1,9	1,10	0	20	8,7	3	90	1,195

Dados pareados em cada coluna, não procedidos de letras, não diferem entre si pelo teste F ($p=0,05$).

O impacto em relação aos cátions trocáveis não foi observado com a manutenção da palhada no sistema, mas, devido aos maiores rendimentos de colmos estarem relacionados às parcelas de cana crua, a quantidade de nutrientes exportados também foi maior, assim a comparação destes resultados deve ser feita com cautela. Estes resultados divergem dos apresentados por outros autores que encontraram, além da influência positiva da deposição da palhada na matéria orgânica do solo, também maiores teores de Mg, enquanto a queima favoreceu a maiores teores de P e K nas camadas superficiais do solo (OLIVEIRA *et al.*, 1994; MENDOZA *et al.*, 2000; GRAHAM *et al.*; 2002).

A aplicação de vinhaça parece ter sido o fator de maior influência no solo, embora este resultado não tenha sido refletido com freqüência na produção de colmos. Sua influência se deu tanto a 10 como a 20 cm de profundidade em diversas características como pH, Al, Mg e principalmente K. Estes resultados mostram que a vinhaça, quando aplicada de forma racional e em quantidades toleráveis, pode se tornar um importante aliado para o manejo mais conservacionista do solo sob o cultivo de cana. No entanto, o que se observa é que

convencionalmente, no período de safra, a irrigação com vinhaça é feita de forma indiscriminada, pois há a necessidade de eliminação deste subproduto da indústria. Como a irrigação com vinhaça é feita em áreas próximas às usinas, as quantidades aplicadas deste subproduto muitas vezes superam os $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Pelos resultados aqui obtidos, constata-se que a aplicação de somente $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ deste produto já ocasionou uma disponibilidade duas vezes maior de potássio que nos tratamentos onde não se aplicou vinhaça (276 e 131 mg kg^{-1} de K, respectivamente). Assim, é clara a possibilidade de salinização do solo em áreas onde a aplicação de vinhaça é muito alta. Deve-se ressaltar que os custos para recuperação da capacidade produtiva destes solos é muito maior que a construção de canais de irrigação para que se possa expandir a aplicação deste subproduto para as demais áreas da usina, reduzindo assim o impacto local e continuado ano após ano.

O efeito da aplicação de nitrogênio foi também observado até a profundidade de 20 cm, no entanto, onde adicionou-se nitrogênio normalmente foram encontrados menores teores de alguns nutrientes como cálcio e magnésio, além da elevação nos teores de alumínio trocável condicionado pela redução do pH do solo. Isto indica que a adição deste nutriente afetou a dinâmica de nutrientes do solo nas camadas mais superficiais e, como a aplicação de nitrogênio favoreceu, em alguns anos, a produção de colmos, é possível que isto tenha acarretado na maior retirada de nutrientes do sistema do que nos tratamentos onde não se aplicou nitrogênio, ocasionando assim, parte desta redução. Outra possibilidade é de que a maior disponibilidade de nitrogênio no solo obtida através da aplicação deste fertilizante, possa ter ocasionado em alterações na atividade da microbiota do solo, que por sua vez influenciou na disponibilidade de nutrientes do solo favorecendo seu acúmulo pelas plantas ou simplesmente favorecendo as perdas.

Na profundidade de 20-40 cm o impacto dos tratamentos foi reduzido (Tabela 11). Somente a aplicação de vinhaça se mostrou significativamente positiva para o incremento do teor de potássio no solo. Estes resultados já eram esperados uma vez que a dinâmica de nutrientes e o impacto das práticas de manejo no solo influenciam mais diretamente as camadas mais superficiais do solo. O teor de fósforo no cultivo agrícola também merece comentário especial em relação aos teores de fósforo do solo sob vegetação nativa. Isso demonstra claramente o impacto da atividade agrícola neste nutriente, uma vez que em sistemas estáveis, normalmente o fósforo encontra-se quase que totalmente retido na fitomassa das plantas havendo pouco P-disponível no solo, enquanto que em cultivos agrícolas é comum encontrar-se valores mais elevados deste nutriente no solo em virtude de sua aplicação via fertilizantes fosfatados, e à dinâmica de nutrientes destes sistemas (CERRI *et al.*, 1992).

Tabela 11. Influência da queima e aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características químicas e na densidade aparente de um solo Bruno não cárlico cultivada com cana de açúcar durante 16 anos (1983-1999), na usina Cruangi, Timbaúba, PE. 20-40 cm.

Tratamentos	pH _{H₂O}	Características químicas do solo 20-40 cm								
		Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P	K ⁺	N		C	
							dag kg ⁻¹	g cm ³		
Sem Vinhaça	4,1	0,9	2,9	1	10	38b	0,088	1,856	1,076	1,228
Com Vinhaça	4,4	0,6	3,3	1,1	12	96a	0,087	1,761	1,021	1,239
Com Queima	4,2	0,7	3,1	1,1	13	67	0,088	1,792	1,039	1,237
Sem Queima	4,3	0,8	3,1	1	9	68	0,086	1,825	1,059	1,23
Sem Nitrogênio	4,3	0,6	3,1	1,1	14	80	0,088	1,853	1,075	1,23
Com Nitrogênio	4,2	0,9	3	1	8	55	0,086	1,764	1,023	1,22
Floresta	6	0	14,4	10,2	1	81	0,141	1,59	0,922	1,121

Em cada tratamento, dados não procedidos de letras na coluna, não diferem entre si pelo teste F (p=0,05).

Na Tabela 12 mais uma vez o efeito dos tratamentos não foi constatado de forma significativa. Estudos de diversos autores nos mais variados sistemas produtivos demonstraram resultados semelhantes, onde o impacto do manejo do solo é detectado principalmente nas camadas mais superficiais do solo (MENDOZA, 1996, 2000; SOUZA & MELO, 2000; SILVA *et al.*, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2000; SISTI, 2001).

Tabela 12. Influência da queima e aplicações de nitrogênio e vinhaça nas características químicas e na densidade aparente de um solo Bruno não cárlico (Luvissolo) cultivada com cana de açúcar durante 16 anos (1983-1999), na usina Cruangi, Timbaúba, PE. 40-60 cm.

Tratamentos	pH _{H₂O}	Características químicas do solo 40-60 cm								
		Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P	K ⁺	N		C	
							dag kg ⁻¹	g cm ³		
Sem Vinhaça	4,9	0,8	2,7	1,2	3,9	28	0,106	1,919	1,113	1,267
Com Vinhaça	4,5	0,6	3,0	1,2	6,0	56	0,072	1,903	1,104	1,272
Com Queima	4,5	0,7	3,1	1,2	5,6	40	0,077	2,008	1,165	1,28
Sem Queima	4,4	0,8	2,6	1,0	4,4	44	0,100	1,814	1,052	1,262
Sem Nitrogênio	4,5	0,6	3,0	1,3a	4,9	49	0,106	1,969	1,142	1,272
Com Nitrogênio	4,4	0,8	2,7	1,0b	5,1	35	0,071	1,852	1,074	1,284
Floresta	5,8	0	20	20	2	71	0,044	1,5	0,870	0,987

Dados pareados em cada coluna, não procedidos de letras, não diferem entre si pelo teste F (p=0,05).

Na Tabela 13, encontram-se os teores de nitrogênio do solo em 1983 (instalação do experimento), que comparados aos valores obtidos em 1999 (término da segunda fase), constata-se que houve uma redução nos teores deste elemento na camada superficial do solo após 16 anos de cultivo. Nas demais profundidades, houve um enriquecimento de nitrogênio no solo. Este empobrecimento do solo em N, em sistemas agrícolas, já vem sendo relatado na literatura (URQUIAGA 2002; CERRI *et al.*, 1992; LONGO & ESPINDOLA, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2000) em função do manejo e da movimentação do solo, sendo menos

intenso em cultivos com aporte de material orgânico. Destaca-se que nos tratamentos onde se manteve a palhada no sistema, este impacto foi reduzido. Em relação ao enriquecimento de nitrogênio em profundidade é possível que o sistema radicular da cultura esteja contribuindo com significativas quantidades de nitrogênio ao longo do perfil do solo. Outra hipótese é a percolação deste nitrogênio no solo através do processo de lixiviação, ou simplesmente acompanhando a percolação da matéria orgânica do solo.

Tabela 13. Teor de N (%) no solo no início do estudo. Médias de 16 repetições.

Prof. (cm)	Nitrogênio no solo	
	1983	1999 dag kg ⁻¹
0-20	0,108	0,098
20-40	0,076	0,087
40-60	0,062	0,088

Em relação ao carbono do solo, só são apresentados os dados da profundidade de 020 cm, e nela há uma forte indicação de redução no teor de carbono do solo em 1999, em relação ao ano de plantio (1983) (Tabela 14). Este resultado coincide com a redução do teor de nitrogênio no solo nesta camada e, como ambos estão diretamente relacionados no solo, esta tendência parece apresentar grande coerência. Vale ressaltar que o comportamento dos teores de nitrogênio e carbono do solo vêm ganhando muita importância na agricultura moderna em função da forte influência que as práticas agrícolas acarretam na dinâmica destes nutrientes. A introdução do plantio direto no Brasil, a necessidade de uma agricultura mais conservacionista em função dos problemas encontrados na região Sul do Brasil devido ao mau uso do solo, e a recente pressão ambiental, vêm acarretando em diversos estudos nesta área. As controvérsias são muitas e as generalizações passam obrigatoriamente pelo tipo de cultivo envolvido, classe de solo, manejo e clima da região em questão, passando até mesmo por estimativas errôneas na determinação dos estoques destes nutrientes no solo, assim os resultados e as implicações desta redução dos teores de nitrogênio e carbono aqui obtidos serão melhor discutidos ao longo deste e do próximo capítulo.

Tabela 14. Teor de carbono total no solo antes e após oito anos de cultivo de cana-de-açúcar (0-20 cm).

Tratamentos	Carbono no solo	
	1983	1999 dag kg ⁻¹
Sem Vinhaça	1,67	1,22
Com Vinhaça	1,70	1,22
Com Queima	1,71	1,13
Sem Queima	1,66	1,31
Com Nitrogênio	1,74	1,25
Sem Nitrogênio	1,63	1,19

12.2. Composição Isotópica do Solo sob Cultivo de Cana-de-Açúcar e Mata Nativa.

Na Tabela 15 observa-se a composição isotópica de ^{13}C do solo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos e do solo sob mata nativa. Em todas as profundidades avaliadas o solo sob mata nativa (originado de plantas C₃) apresentou os menores valores de ^{13}C . Em geral os valores de enriquecimento isotópico de ^{13}C para solos de matas tropicais está próximo a -27 ‰ $\delta^{13}\text{C}$, no entanto os resultados aqui encontrados estiveram em torno de -24 ‰ $\delta^{13}\text{C}$. Estes resultados são segundo FARQUHAR & RICHARDS (1984) e PATE (2001) normais em ambientes em que a vegetação sofre com situações de stress hídrico, havendo nestas situações menor discriminação isotópica em função do menor tempo de abertura dos estômatos durante o processo de fotossíntese. O manejo da cultura de cana-de-açúcar influenciou no aumento da composição isotópica de ^{13}C da matéria orgânica do solo em cerca de 13% na camada mais superficial do solo (0-10 cm), não parecendo ter sofrido forte influência dos tratamentos aplicados (Tabela 16). Nas demais camadas de solo, o tratamento nos quais vinha-se mantendo a palhada no sistema apresentou uma leve tendência de apresentar os maiores valores de alteração na composição isotópica do solo. Este fato pode ter sido ocasionado pela associação de dois fatores: o primeiro, a maior deposição de material vegetal de origem C₄ no solo (devido a manutenção da palhada e a maior produção de fitomassa que possivelmente afetou a quantidade de raízes produzidas); e o segundo, pode ser decorrente de maior percolação de material orgânico ao longo do perfil do solo, em função direta de sua maior deposição na superfície do solo.

Tabela 15. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça no enriquecimento isotópico de ^{13}C no solo sob diferentes manejos de cana-de-açúcar e vegetação nativa (0-60 cm). Usina Cruangi, PE.

Tratamentos	Valores de delta ^{13}C no solo (‰)			
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Sem Vinhaça	-20,94	-21,88	-22,16	-22,49
Com Vinhaça	-20,46	-21,69	-22,55	-22,92
Com Queima	-20,76	-21,85	-22,78	-23,35
Sem Queima	-20,64	-21,72	-21,93	-22,07
Sem Nitrogênio	-20,88	-21,96	-22,12	-22,34
Com Nitrogênio	-20,53	-21,61	-22,59	-23,08
Floresta	-23,74	-23,65	-23,86	-23,98
<i>Interações</i>				
C/Q; S/N*		-22,60		-23,40
C/Q; C/N		-22,11		-23,29
S/Q; S/N		-22,32		-21,28
S/Q; C/N		-21,12		-22,86
CV%	6,47	4,89	4,77	5,04

* S=Sem; C=Com; Q=Queima; N=Nitrogênio

Outro aspecto que vale ser ressaltado é o imediatismo que se espera em estudos sobre a dinâmica de nutrientes do solo, entre eles o carbono e o nitrogênio. Assim que a vegetação natural é retirada as transformações no solo se dão de forma acelerada, pois o nível de perturbação é grande, mas em solos que já possuem um manejo agrícola estas alterações se dão de forma mais lenta. O equilíbrio de um sistema não perturbado (natural) é muito estável, desde que mantido, mas qualquer alteração sofrida é logo expressada, o que ocorre de forma diferenciada em sistemas agrícolas já estabelecidos.

Assim, embora o impacto dos tratamentos pareçam ter influenciado pouco a composição isotópica do solo, deve-se ressaltar que a construção da composição isotópica do solo é fruto de um processo contínuo de milhares de anos, o chamado tempo geológico, enquanto a experimentação agrícola exige resultados acentuados em espaços de tempo muito curtos, aqui denominados tempo biológico. Sendo a magnitude de tempo diferenciada entre as duas construções da composição isotópica do solo, estes resultados devem ser interpretados de forma mais holística, considerando o tempo de construção e de alteração da composição isotópica do solo em função da ação antrópica.

Tabela 16. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na variação relativa do enriquecimento de ^{13}C do solo sob diferentes manejos de cana-de-açúcar comparado com o solo sob vegetação nativa (0-60 cm). Usina Cruangi, PE.

Tratamentos	Variação relativa dos valores de delta ^{13}C no solo (%)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	Média
Sem Vinhaça	12	7	7	6	8
Com Vinhaça	14	8	5	4	8
Com Queima	13	8	5	3	7
Sem Queima	13	8	8	8	9
Sem Nitrogênio	12	7	7	7	8
Com Nitrogênio	14	9	5	4	8
<i>Interação</i>					
C/Q; S/N		4		2	
C/Q; C/N		6		2	
S/Q; S/N		5		11	
S/Q; C/N		10		4	
CV%	6,47	4,89	4,77	5,04	4,46

* S=Sem; C=Com; Q=Queima; N=Nitrogênio

Assim, embora em valores absolutos a redução da composição isotópica do solo tenha atingido até cerca de 14% da composição original do solo, quando se considera de forma ponderada a real influência do cultivo no carbono original do solo constata-se que o carbono do solo proveniente de plantas do ciclo C_3 (ou carbono original do solo) foi muito similar entre os tratamentos apresentando maior expressão nas camadas mais superficiais do solo, na qual a influência foi de até 9% e reduzindo em profundidade, chegando a camada de 40-60 cm apresentar até cerca de 98% da composição original do solo (Tabela 17).

Tabela 17. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça no carbono original do solo, cultivado com cana-de-açúcar por 16 anos - Percentuais.

Tratamentos	Carbono original do solo (C_3) - %			
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Sem Vinhaça	92	95	95	96
Com Vinhaça	91	95	96	97
Com Queima	92	95	97	98
Sem Queima	92	95	95	95
Sem Nitrogênio	92	95	95	96
Com Nitrogênio	91	94	97	98
CV%	6,47	4,89	4,77	5,04

Já quando se observa a quantidade de carbono de origem C₃ no solo, nota-se que a prática da queima influencia com maior intensidade sua redução, quando se considera o solo como um todo (0-60 cm), enquanto a manutenção da palhada no sistema se apresenta mais conservacionista preservando o carbono original do solo (Tabela 18). Avaliando a camada mais superficial (0-10 cm) observa-se que o tratamento no qual manteve-se a palhada no sistema preservou mais o carbono original do solo, o que indica que esta prática é fundamental não somente para adicionar carbono ao solo, como também para manter o estoque existente. O tratamento com queima prévia do palhiço antes do corte promoveu os menores valores de carbono nesta profundidade. Na profundidade de 20-40 cm, os valores de estoque de carbono do solo de origem C₃ foram muito similares entre si, enquanto que na profundidade de 40-60 cm o tratamento sem queima prévia apresentou os menores valores de carbono de origem C₃. Estes resultados são relevantes e indicam que a queima da palha antes do corte não somente é um desperdício do ponto de vista nutricional, mas também a prática em si, ao contrário do que comumente se encontra na literatura, reduz o teor e a quantidade de carbono original do solo. Estes resultados precisam ser melhor avaliados em outras condições experimentais para que se possa inferir com mais segurança sobre sua representatividade, mas já abre uma nova perspectiva de estudo na área.

Tabela 18. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça no carbono original do solo(C₃), cultivado com cana-de-açúcar por 16 anos - quantidades.

Tratamentos	Carbono de origem C ₃ (kg ha ⁻¹)				
	0-10	~10-20	~20-40	~40-60	0-60
Sem Vinhaça	12613	13446	23383	20853	70295
Com Vinhaça	11871	13778	22988	20596	69233
Com Queima	11407b	12684b	22927	21688a	68706b
Sem Queima	13070a	14577a	23448	19737b	70831a
Sem Nitrogênio	12017	13367	23362	21085	69831
Com Nitrogênio	12460	13889	23023	20355	69727

Dados pareados por tratamento, em cada coluna, não procedidos de letras, não diferem entre si pelo teste F (p=0,05).

Na Tabela 19 são apresentados os resultados das quantidades de carbono derivados da cana-de-açúcar (C₄) no solo. Constata-se que a cultura de cana contribui pouco para a adição de carbono ao solo, não havendo fortes diferenças entre os tratamentos, embora a manutenção da palhada no sistema tenha favorecido a contribuição de carbono de origem C₄ de forma quase homogênea ao longo do perfil do solo.

A tendência de maior acúmulo de carbono nos tratamentos onde adicionou-se vinhaça, ou nitrogênio ou manteve-se a palha no sistema, provavelmente é derivado da maior deposição de material vegetal ao solo, em função da maior produção obtida nestes tratamentos. Já para as demais profundidades nota-se que a manutenção da palhada favoreceu de forma consistente a incorporação de carbono originário da cana-de-açúcar ao solo.

Tabela 19. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na deposição de carbono de origem C₄ no solo, após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar – Percentuais.

Tratamentos	Carbono de origem C ₄ (%)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	Média
Sem Vinhaça	8	5	5	4	5
Com Vinhaça	9	5	4	3	5
Com Queima	8	5	3	2	5
Sem Queima	8	5	5	5	6
Sem Nitrogênio	8	5	5	4	6
Com Nitrogênio	9	6	3	2	5
CV%	6,47	4,89	4,77	5,04	

Quando se considera o estoque ou seja, a quantidade de carbono derivado da cultura de cana-de-açúcar no solo (Tabela 20), os resultados apresentam maior impacto. O maior acúmulo de carbono nas camadas subsuperficiais dos tratamentos sem vinhaça e sem nitrogênio despertam a curiosidade. É possível que devido à baixa disponibilidade de nutrientes no solo o sistema radicular das plantas destes tratamentos se aprofundaram um pouco mais, visando aumentar sua superfície de contato e consequentemente suprir com maior eficiência a demanda nutricional da cultura. Este maior aprofundamento do sistema radicular pode ter causado maior deposição do carbono em sub-superfície. Outra hipótese provável é que tenha havido percolação de carbono no perfil do solo. Nos tratamentos onde não havia palha o acúmulo de carbono ao longo do perfil também foi mais baixo, e como neste tratamento não havia deposição vegetal significativa sobre o solo, acredita-se que a percolação no perfil do solo foi a principal responsável por esta deposição nos demais tratamentos.

Estes resultados abrem perspectivas para o que seria uma das maiores lacunas das ciências agrárias, que é o estudo do comportamento e da arquitetura radicular, que sem dúvida pode se tornar um novo ponto de estudo para os melhoristas, que com base em informações que correlacionem este comportamento com a produção, podem buscar um novo paradigma na área, visando melhorar a fonte de entrada de nutrientes para que se consiga otimizar a qualidade e o crescimento da parte aérea das plantas.

Tabela 20. Influência da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça na deposição de carbono de origem C₄ no solo, após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar – Quantidade de carbono derivado da cultura de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Carbono derivado da cana (C ₄) (kg ha ⁻¹)				
	0-10	~10-20	~20-40	~40-60	0-60
Sem Vinhaça	1041	682	1131a	874	3728
Com Vinhaça	1162	777	845b	607	3391
Com Queima	1005b	654b	691b	378b	2729b
Sem Queima	1204a	811a	1295a	1076a	4385a
Sem Nitrogênio	1016	646b	1155a	979a	3796
Com Nitrogênio	1193	817a	822b	510b	3342

Dados pareados por tratamento, em cada coluna, não precedidos de letras, não diferem entre si pelo teste F (p=0,05).

12.3. Potencial de Seqüestro de Carbono na Cultura de Cana-de-Açúcar.

Muito vem se falando sobre o real potencial de seqüestro de carbono em sistemas agrícolas. Na cultura de cana-de-açúcar, especulações a este respeito são freqüentes. Neste estudo, o carbono efetivamente incorporado ao sistema pela prática de colheita de cana crua foi baixo, embora não desprezível. Desconsiderando-se o efeito da densidade do solo, somente para comparação grosseira do real impacto do manejo na cultura de forma global e considerando-se somente os primeiros 20 cm de solo, este incremento foi de cerca 15% (4200 kg ha⁻¹ de C) e há 60 cm se reduziu, ficando em 3% (2800 kg ha⁻¹ de C), após 16 anos de cultivo (Tabela 21). A validade do aumento do “estoque” de carbono neste sistema, provavelmente está mais relacionado a melhoria em características químicas (CTC, Fertilidade, etc.), Físicas (estrutura) e biológicas (atividade da fauna do solo) do que no potencial de seqüestro de carbono no solo. Estas características por si só, já são de grande importância para a sustentabilidade do manejo na cultura de cana-de-açúcar.

Tabela 21. Percentual e estoque de carbono no solo cultivado por 16 anos com cana-de-açúcar, submetido à prática de colheita de cana crua ou queimada, sem correção da massa de solo.

Profundidade (cm)	Queimada		Crua		Diferença %
	dag kg ⁻¹	Carbono kg ha ⁻¹	dag kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
0-10	1,16	15776	1,334	17475	11
10-20	1,102	15538	1,276	18119	17
20-40	1,039	24743	1,058	25192	2
40-60	1,165	28410	1,08	26343	-8
Total	-	84467	-	87129	3

Em estudo de balanço energético na cultura de cana-de-açúcar, Macedo (1998) determinou as emissões líquidas de carbono para atmosfera. Em adição a este estudo, introduziu-se uma nova variável, a partir dos dados de carbono no solo em função dos resultados obtidos após 16 anos do manejo de cana crua x queimada neste experimento. Encontrou-se, em média, um aumento do C no solo no sistema cana crua da ordem de 270 kg ha⁻¹ ano⁻¹ a 20 cm (Tabela 21), nos 16 anos de estudo. Neste sentido, a manutenção da palhada no sistema favoreceu o acúmulo de matéria orgânica no solo, reduzindo ainda mais a emissão líquida de C via queima de combustíveis fósseis (Tabela 22).

Estes resultados indicam claramente que a cultura de cana-de-açúcar apresenta grande potencial de seqüestro de carbono, mas este potencial está diretamente relacionado à substituição da gasolina pelo álcool combustível assim como pelo uso do bagaço para geração de energia elétrica. Neste sentido, se faz necessário enfatizar as vantagens de se manter a palhada da cana sobre o solo com o enfoque de melhorias na qualidade e na fertilidade do solo, ficando o seqüestro de carbono mais restrito a redução das emissões líquidas de carbono para a atmosfera viabilizadas pelos produtos e subprodutos da cultura de cana, e não ao incremento do estoque deste elemento no solo.

Tabela 22. Emissões líquidas de CO₂ durante o ciclo produtivo da cana de açúcar no Brasil em 1996 – Dados convertidos para Carbono.

Fontes	$10^6 \text{ Mg C (equivalente) ano}^{-1}$	
	Com Queima*	Sem Queima
Combustíveis fósseis utilizados na agroindústria	+1,28	+1,28
Emissões de metano (CH ₄) - com a queima da palhada	+0,06	0
Emissões de N ₂ O	+0,24	+0,24
Álcool substituindo a gasolina	-9,13	-9,13
Substituição do óleo combustível por bagaço	-5,20	-5,20
Contribuição de C na MOS após 16 anos	0	-1,34
“Seqüestro de Carbono”	-12,74	-14,15

Adaptado de Macedo (1998)

11.4. Estimativas do Estoque de Carbono e Nitrogênio na Cultura de Cana-de-Açúcar Ajustado pela Massa de Solo da Floresta Nativa.

Visando comparar o impacto da atividade agrícola no estoque de carbono e nitrogênio do solo, muitos autores vêm fazendo comparações entre as condições atuais (sob manejo agrícola), com o solo sob vegetação nativa, objetivando entender as alterações que acompanham a mudança de cobertura do solo. Neste estudo, esta comparação também foi efetuada utilizando-se solo sob vegetação nativa próxima à área experimental, tido como referência. Para tanto, houve a necessidade de se igualar a massa de solo sob atividade agrícola, em cada camada, à massa de solo sob floresta, propiciando assim a comparação do estoque de carbono e nitrogênio, influenciada somente pela redução ou aumento dos teores de carbono do solo. URQUIAGA (2002), analisando o estoque de carbono e nitrogênio de diversos trabalhos publicados no meio acadêmico, considera que em muitos casos, a falta de homogeneização das massas de solo acarretou em superestimativas dos estoques de carbono e nitrogênio dos solos submetidos ao manejo agrícola, quando comparados com o solo sob mata nativa, superestimando portanto, um assunto que vem sendo muito propagado no meio acadêmico que é o potencial de seqüestro de carbono em ecossistemas terrestres.

Nas Tabelas 23 e 24 é possível visualizar o real impacto dos ajustes das camadas de solo à massa do solo sob floresta (referência). Na Tabela 23, nota-se que as diferenças entre a referência e o solo sob cultivo de cana esteve próxima a 17%, com pequenas variações entre os diferentes manejos aplicados à cultura. No entanto, foi justamente na camada que apresenta os maiores teores de nutrientes (0-10 cm), que o impacto se deu com maior intensidade, ficando próximo a 22% nas parcelas em que se queimava o palhço antes do corte. Estes resultados indicam que caso os teores de nitrogênio e carbono fossem idênticos para o solo sob floresta e para o solo sob cultivo agrícola, os valores de estoque de carbono e nitrogênio deste último estariam superestimados em aproximadamente 20%.

Tabela 23. Profundidade do solo utilizada na determinação do estoque de carbono no solo.

Tratamentos	Uso do solo em camadas sem correção (cm)				
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-60
Sem Vinhaça	8,23	8,42	18,26	15,58	50,48
Com Vinhaça	7,99	8,54	18,10	15,52	50,13
Com Queima	7,87	8,48	18,12	15,42	49,89
Sem Queima	8,17	8,42	18,23	15,64	50,45
Sem Nitrogênio	8,05	8,36	18,23	15,52	50,15
Com Nitrogênio	8,05	8,54	18,38	15,37	50,33
<i>Floresta</i>	<i>10,00</i>	<i>10,00</i>	<i>20,00</i>	<i>20,00</i>	<i>60,00</i>

Na Tabela 24 observa-se de uma outra forma a equivalência entre as diferentes camadas do solo sob cultivo de cana com o da floresta.

Tabela 24. Profundidade do solo utilizada na determinação do estoque de carbono no solo em cada camada do perfil, para uma mesma massa de solo contida na respectiva profundidade do solo da floresta..

Tratamentos	Equivalência entre camadas de solo (cm)			
	0-10	10-20	20-40	40-60
Sem Vinhaça	8,23	6,65	14,90	10,48
Com Vinhaça	7,99	6,52	14,62	10,13
Com Queima	7,87	6,34	14,47	9,89
Sem Queima	8,17	6,58	14,81	10,45
Sem Nitrogênio	8,05	6,40	14,63	10,15
Com Nitrogênio	8,05	6,58	14,96	10,33
<i>Floresta</i>	<i>10,00</i>	<i>10,00</i>	<i>20,00</i>	<i>20,00</i>

Na Tabela 25 pode-se constatar o efeito dos tratamentos no estoque de carbono e nitrogênio do solo em comparação com o solo original sob mata nativa. Considerando os primeiros 10 cm de solo, nota-se que a o solo sob floresta apresentou os maiores valores de estoque de carbono. O tratamento sem queima apresentou as menores perdas de carbono no solo em relação ao solo referência, 15%, enquanto o tratamento com queima apresentou a maior chegando a 26% nesta camada. Os demais tratamentos foram muito similares entre si e estiveram próximos a 20%.

Considerando uma agregação das duas primeiras camadas (0-20 cm), o tratamento sem queima apresentou redução no estoque de carbono em relação ao solo sob mata nativa de menos de 1%, enquanto o tratamento com queima da palha antes do corte da cana reduziu em 16%. Os demais tratamentos estiveram próximos a 8% de redução. No entanto deve-se destacar o tratamento com aplicação de nitrogênio, que apresentou redução de apenas 5% enquanto nas parcelas onde não se aplicava nitrogênio, esta redução até 20 cm de profundidade foi de 11%.

Mais uma vez estes resultados na camada arável do solo indicam ser esta a mais afetada pelo manejo agrícola e também que a disponibilidade de nitrogênio, seja ela através da adição de fertilizantes nitrogenados ou da FBN associada à cultura, é fundamental para

possibilitar o aumento de carbono no solo, uma vez que estes nutrientes apresentam forte ligação entre si (HAGEDORN, 2002; URQUIAGA *et al.*, 2002).

Estes resultados demonstram também que o impacto da cultura de cana-de-açúcar no estoque de carbono da camada mais superficial do solo não é muito pronunciado, desde que se mantenha a palhada no sistema.

Tabela 25. Estoque de carbono no solo, considerando a massa de solo da floresta como referência.

Tratamentos	Carbono no solo (kg ha^{-1})					Ajuste Residual	Massa solo Mg ha^{-1}
	0-10	~10-20	~20-40	~40-60	0-60		
Sem Vinhaça	13653	14129	24515	21727	74023	13679	6481
Com Vinhaça	13033	14555	23833	21202	72623	14139	6481
Com Queima	12412b	13337b	23619	22067	71435b	15408	6481
Sem Queima	14274a	15387a	24743	20812	75217a	12973	6481
Sem Nitrogênio	13033	14013	24518	22064	73627	14652	6481
Com Nitrogênio	13653	14706	23845	20866	73069	13502	6481
<i>Floresta</i>	<i>16756</i>	<i>13169</i>	<i>20676</i>	<i>17174</i>	<i>67775</i>	<i>0</i>	<i>6481</i>

Valores pareados em cada coluna, sem letras, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

Avaliando a camada seguinte de forma integrada à camada de 0-40 cm, constata-se que a manutenção da palhada favoreceu o aumento do estoque de carbono do solo em relação ao tratamento com queima, em mais de 5000 kg ha^{-1} , e em relação a floresta em cerca de 3800 kg ha^{-1} , sendo cerca de 7% maior que esta última, o que significou um acréscimo ao solo de quase $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono (Tabela 25). A aplicação de nitrogênio favoreceu o estoque de carbono em 5% em relação ao solo referência e a aplicação de vinhaça não acarretou em maiores conteúdos de carbono no solo.

Antes de se discutir o estoque de carbono e nitrogênio no solo até a profundidade de 60 cm deve-se ressaltar mais uma vez que a qualidade da amostragem de 40-60 cm do solo da floresta foi prejudicada devido à grande presença do material de origem de formação do solo nesta camada. Como já mencionado o solo em questão (LUVISSOLO), caracteriza-se por ser jovem e apresentar forte presença de material rochoso, além de serem solos rasos. Na amostragem da floresta estas características foram mais pronunciadas na profundidade de 40-60 cm, o que pode ter causado distorções ainda maiores na análise e na consequente interpretação dos resultados desta camada.

O solo sob floresta apresentou o mais baixo estoque de carbono ($67,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), inferior em 11% ao tratamento sem queima ($75,2 \text{ Mg ha}^{-1}$), que apresentou o mais alto estoque de carbono, e inferior a 5% ao tratamento com queima ($71,4 \text{ Mg ha}^{-1}$), o menor. Mesmo considerando-se os problemas de amostragem na camada de 40-60 cm, constata-se que a cultura de cana-de-açúcar, nas condições do estudo favoreceu o incremento do estoque de carbono do solo, em quase 8000 kg ha^{-1} quando comparado à mata nativa. Estes resultados confirmam os trabalhos de alguns autores em pastagens, e também em cana-de-açúcar que encontraram maior estoque de carbono no solo sob este cultivo do que sob a vegetação nativa (DIAS-FILHO, 2000; BLAIR, 2000). Estes autores justificam este resultado pela alta relação C/N da pastagem e o não revolvimento do solo anualmente, como se faz em cultivos agrícolas anuais. Estas afirmativas também podem ser consideradas factíveis para a cultura de cana-de-açúcar, uma vez que a palhada apresenta alta relação C/N. Por ser uma cultura semi-

perene, o revolvimento do solo se dá a cada 6-8 anos, minimizando assim o efeito oxidativo da matéria orgânica do solo que o revolvimento possibilita. Outro aspecto que deve ser ressaltado é que embora sejam perceptíveis as diferenças entre os estoques de carbono dos tratamentos com e sem queima, era de se esperar que esta fosse ainda maior em virtude da grande deposição de material orgânico no solo no tratamento onde manteve-se a palhada no sistema. Embora não tenha sido quantificado neste trabalho, as raízes da planta podem estar contribuindo com quantidades de carbono significativas para o solo, e por suas características de alta relação C/N e alto teor de lignina, submetidos a condições de baixa disponibilidade de oxigênio, possivelmente possuem uma taxa de persistência no solo muito maior que o material oriundo da parte aérea (FU & CHENG, 2002). Este fato necessita ser melhor elucidado.

Estes resultados são promissores principalmente levando-se em consideração a possibilidade de ratificação do Protocolo de Quioto e o consequente pagamento de *royalties* ambientais que, aliando estes valores a substituição de combustíveis fósseis por álcool combustível, a utilização do bagaço como fonte energética para alimentar a indústria e a economia de fertilizantes químicos devido a utilização da vinhaça e da torta de filtro pode colocar a cultura de cana-de-açúcar brasileira em posição ainda de maior destaque que o atual, no cenário mundial. Deve-se ressaltar que mesmo que o Protocolo não se tome efetivamente realidade o impacto positivo do aumento do carbono no solo e o consequente aumento de sua matéria orgânica, favorecendo a CTC e a fertilidade do solo, já são por si só suficientes para se estimular cada vez mais a colheita de cana crua na cultura. E como os resultados aqui apresentados demonstraram, os efeitos positivos da manutenção da palhada não se restringiram somente ao solo, tiveram impacto altamente positivo na produtividade da cultura, na longevidade do canavial e na produção de açúcar e, este impacto foi maior quanto maior o tempo de permanência no sistema de colheita de cana crua.

Estudos como estes devem ser estimulados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil onde concentram-se cerca de 80% da produção Nacional de cana (IBGE, 2002) e, que agora com o aperfeiçoamento e o crescimento da colheita mecanizada merece ser melhor considerado. Em termos potenciais, é possível esperar resposta ainda mais positiva do ponto de vista de aumento no estoque de carbono do solo uma vez que o clima mais ameno favorece o acúmulo de material vegetal sobre o solo, do que nas condições experimentais em que este estudo se desenvolveu.

Já em relação ao estoque de nitrogênio do solo nota-se que a floresta apresentou valores elevados quando comparado ao solo sob cultivo agrícola (Tabela 26). A vegetação nativa predominante no local é de árvores da família Leguminosae, como a algaroba e a jurema preta, assim é possível que a amostragem do solo tenha sofrido influência das raízes destas plantas e até mesmo de algum nódulo ainda existente que normalmente são de tamanho diminutos e que podem ter contribuído para mascarar a análise do solo superestimando o N-total do solo. De qualquer forma, é esperado que o conteúdo de nitrogênio do solo sob estas condições, principalmente nas camadas mais superficiais seja mais alto.

Considerando-se os diversos tratamentos associados à cultura de cana-de-açúcar, nos primeiros 40 cm do solo, o acúmulo de nitrogênio oscilou entre 4090 e 4319 kg ha⁻¹, para os tratamentos com e sem queima, respectivamente. A aplicação de vinhaça favoreceu o acúmulo de nitrogênio em 2%, praticamente na mesma magnitude que a aplicação de nitrogênio.

Tabela 26. Estoque de nitrogênio no solo em função da massa de solo na floresta

Tratamentos	Nitrogênio no solo (kg ha ⁻¹)					Ajuste Residual
	0-10	~10-20	~20-40	~ 40-60	0-60	
Sem Vinhaça	1070	1118	1991	1972a	6151	1303
Com Vinhaça	1102	1166	1993	1528b	5789	922
Com Queima	1006b	1096	1988	1601	5691	1019
Sem Queima	1166a	1178	1975	1878	6198	1233
Sem Nitrogênio	1059	1127	1998	1964a	6148	1360
Com Nitrogênio	1124	1152	1965	1501b	5742	892
<i>Floresta</i>	<i>3520</i>	<i>3452</i>	<i>3150</i>	<i>865</i>	<i>10987</i>	<i>0</i>

Em cada tratamento, valores sem letras, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

A relação carbono/nitrogênio do solo foi similar entre os tratamentos sob cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 27). Esta relação para o solo sob floresta foi muito baixa, o que pode ser justificado em parte pelas características do solo e da vegetação a ele associada. É fácil notar a similaridade entre a relação C/N dos diferentes tratamentos associados à cultura de cana-de-açúcar, o que mais uma vez indica que o nitrogênio é o principal responsável pela fixação de carbono no solo e ambos os elementos são interdependentes no solo.

Tabela 27. Relação C/N do solo considerando os diferentes tratamentos aplicados à cultura de cana-de-açúcar e ao solo sob floresta.

Tratamentos	Relação C/N do solo				
	0-10	~10-20	~20-40	~40-60	0-60
Sem Vinhaça	12,76	12,64	12,31	11,02	12,03
Com Vinhaça	11,83	12,48	11,96	13,88	12,54
Com Queima	12,34	12,17	11,88	13,78	12,55
Sem Queima	12,24	13,06	12,53	11,08	12,14
Sem Nitrogênio	12,30	12,43	12,27	11,23	11,98
Com Nitrogênio	12,15	12,77	12,13	13,90	12,73
<i>Floresta</i>	<i>4,76</i>	<i>3,81</i>	<i>6,56</i>	<i>19,86</i>	<i>6,17</i>

É muito comum encontrar na literatura trabalhos comparando solos sob cultivo agrícola e solos sob vegetação nativa, sendo comum os autores acreditarem ou simplesmente não se preocuparem se o solo sob mata nativa representa originalmente o solo sob cultivo agrícola. Na maioria das situações o solo que se deixa com a vegetação nativa é o encontrado em áreas de difícil acesso ou solos de menor fertilidade. Assim, nem sempre a comparação do solo sob mata nativa é o melhor para se estudar as alterações químicas e físicas que o cultivo agrícola causa. Neste estudo, esta ressalva também é válida e o resultado destas comparações deve ser analisado com cautela.

13. CONCLUSÕES

Os efeitos da aplicação dos tratamentos na fertilidade do solo foram sentidos somente até 20 cm de profundidade e a manutenção da palhada favoreceu os teores de nitrogênio e carbono total do solo, enquanto a aplicação de vinhaça se mostrou uma importante fonte de potássio;

A manutenção da palhada conservou o carbono do solo originário da floresta (C_3), com mais eficiência;

A manutenção da palhada no sistema favoreceu a deposição de carbono derivado da cana (C_4) ao solo, embora este total depositado tenha sido pequeno em relação ao estoque de carbono do solo;

O estoque de nitrogênio do solo também foi afetado positivamente pela manutenção da palhada no sistema, porém em menor magnitude;

O potencial de seqüestro de carbono no solo a partir da cultura de cana-de-açúcar foi pequeno, tendo sido mais importante para a manutenção da fertilidade do solo.

13.1. Considerações

Nas condições experimentais que se realizou este estudo foi possível concluir que o manejo da cultura no sistema de cana crua favorece os teores de nitrogênio e carbono do solo até a profundidade de 20 cm, mas não afeta de forma significativa as demais camadas do solo. Este resultado é importante uma vez que indica ser este um manejo mais conservacionista do solo e que, embora muito se propale na literatura que a queima, especificamente na cultura de cana, não afeta negativamente a fertilidade do solo, o mínimo que podemos concluir por estes resultados é que a manutenção da palhada, numa hipótese pouco otimista, conserva com mais eficiência suas características químicas à longo prazo.

A aplicação de vinhaça favorece a disponibilidade de potássio no solo, no entanto, como esta aplicação é contínua sempre na mesma área e em doses muito superiores às praticadas neste experimento, é bem racional imaginar que com o passar dos anos estes solos possam apresentar um efeito salino de difícil reversão e portanto, deve-se estimular a aplicação de vinhaça não mais nas áreas próximas às usinas, mas estendê-las para as demais áreas da fazenda. Deve-se ressaltar que os custos para desanilização do solo são impraticáveis e a natureza por si só levaria alguns anos para tornar este solo produtivo novamente.

O cultivo de cana-de-açúcar não afeta de forma muito drástica a composição isotópica do carbono do solo, no entanto a manutenção da palhada se mostrou uma importante alternativa conservacionista do conteúdo de C original do solo, além de incrementar o estoque de carbono e nitrogênio do solo. Em estudos que visem quantificar o potencial de seqüestro de carbono da atmosfera, a cultura de cana-de-açúcar deve receber atenção especial, uma vez que seu potencial não se restringe somente ao incremento de carbono no solo, mas também à utilização do bagaço nas caldeiras para gerar energia elétrica e também na utilização do álcool como combustível, que acabam exercendo importante papel na mitigação das emissões de gases de efeito estufa para atmosfera, uma vez que evita as emissões de combustíveis fósseis.

**14. CAPÍTULO III BALANÇO DE NITROGÊNIO E CARBONO DO SISTEMA
SOLO/PLANTA, QUANTIFICAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DA FIXAÇÃO
BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR
E O IMPACTO ECONÔMICO DO SISTEMA DE COLHEITA**

RESUMO

As práticas da queima, aplicação de vinhaça e nitrogênio são comuns na cultura de cana-de-açúcar. No entanto, estudos de longa duração são pouco encontrados na literatura. Neste trabalho realizado na Usina Cruangi, Timbaúba, PE, transição entre a Zona da Mata e o agreste daquele estado, objetivou-se avaliar de que forma o efeito das aplicações de nitrogênio (0 e 80 kg ha⁻¹ na forma de uréia), da vinhaça (0 e 80 m³ ha⁻¹) e da queima do palhiço antes do corte (com e sem queima) afetaria o balanço de nitrogênio e carbono do sistema solo/planta. Estimou-se também a contribuição da FBN para as plantas de cana e comparou-se os dois sistemas de colheita do ponto de vista econômico. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2 x 2, com 8 tratamentos, 32 parcelas e quatro repetições. O experimento teve duas fases, a primeira de 1983-1992 e a segunda de 1992-1999. Durante os 16 anos de cultivo, as plantas acumularam entre 750 e 1500 kg ha⁻¹ de nitrogênio em seus tecidos nos tratamentos com e sem queima respectivamente. O grande acúmulo deste nutriente nos tecidos sugere a necessidade de a cultura desenvolver algum sistema de reposição deste nutriente, do contrário seria pouco provável que cultivo se estendesse até os dias de hoje. Já o carbono acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar variou entre 100 e 200 Mg ha⁻¹ para os tratamentos com e sem queima da palha antes do corte, respectivamente. O balanço de carbono do solo foi positivo para todos os tratamentos e oscilou entre 2600 e 6500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de C, para os tratamentos nos quais não se aplicou vinhaça e manteve-se a palha, respectivamente. No entanto o que se observa é que menos de 6% deste material depositado foi efetivamente incorporado à matéria orgânica do solo, o que coincide com o estudo de alguns autores (BOUNDER *et al.*, 1999; SANTOS *et al.*, 2000). A quantidade de nitrogênio na planta derivado da FBN oscilou entre 74-350 kg ha⁻¹ nos 16 anos de cultivo, estando estes valores, possivelmente subestimados em função da falta de controle sobre as perdas de nitrogênio por lixiviação e volatilização, que não foram monitoradas neste estudo. Ao analisar-se o aspecto econômico do sistema de manejo de corte da cana, após 16 anos de estudo a manutenção da palhada mostrou-se mais favorável do ponto de vista econômico. No entanto, estes resultados não são imediatos, o que permite sugerir que o agricultor que desejar mudar o sistema de colheita deve fazer de forma gradual, visando minimizar o impacto da menor rentabilidade obtida nos primeiros anos de adoção deste sistema. É importante ressaltar que com o passar dos anos este sistema se torna cada vez mais rentável e este impacto inicial negativo é logo revertido.

ABSTRACT

The practices of pre-harvest burning and the application of vinasse and N fertiliser are common in sugarcane cropping. However, there are few published long term studies. In this study carried out at the plantation of Usina Cruangi, Timbaúba, Pernambuco, in the transition zone between the “Zona da Mata” and the “Agreste” of this State, the objective was to investigate the long-term (1983 to 1999) effects of the addition of vinasse (distillery waste - 0 and 80 m ha⁻¹) and nitrogen fertiliser (0 and 80 kg N ha⁻¹), and two harvesting systems (with or without pre-harvest burning) on the balance of nitrogen and carbon of the soil/plant system. The contribution of biological nitrogen fixation (BNF) to the cane plants was also evaluated along with an economic comparison of the two systems of harvesting. The experiment was laid out in a 2 x 2 x 2 factorial design with 8 treatments and 32 plots in complete randomised blocks with four replicates. The experiment had two phases, the first from 1983 to 1992, and the second from 1992 to 1999. Over the 16-year period of the study, the plants accumulated between 750 and 1500 kg N ha⁻¹ in the shoot tissue in the treatments with and without pre-harvest burning, respectively. The large accumulation of this nutrient in the plant tissues suggests that it is necessary for the crop to develop a system to replenish this nutrient or it is improbable that the crop would still be planted today. The carbon in the shoot tissue varied from between 100 and 200 Mg ha⁻¹ for the treatments with and without pre-harvest burning, respectively. The balance of carbon in the soil was positive for all treatments and varied between 2600 and 6500 kg C ha⁻¹ year⁻¹ for the treatments without vinasse and with trash conservation, respectively. However, only 6 % of these residues were effectively incorporated into the soil organic matter, which is in agreement with results reported by other authors (BOLINDER *et al.*, 1999; SANTOS *et al.*, 2000). The quantity of nitrogen in the plant derived from BNF varied from 74 to 350 kg N ha⁻¹ over the 16 years of the study and these values may be underestimates owing to the fact that N losses via leaching or volatilization were assumed to be zero in this study. The economic analysis of the harvest system showed that after 16 years the conservation of the trash was more profitable than pre-harvest burning. However, these results were not immediate, which would lead to the suggestion that the plantation manager wishes to change his harvest system should approach this in a gradual form with the objective of minimizing the impact of the lower income obtained in the first years of the adoption of green cane harvesting. It is important to realize that as the years pass the system becomes gradually more profitable and the initial negative impact is soon reversed.

14. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é considerado, depois da água, o fator que mais influência na produtividade das culturas. No Brasil, como na maioria dos países tropicais, a baixa disponibilidade deste nutriente nos solos responde, em grande parte, pelos baixos níveis de rendimentos dos cultivos agrícolas. Em solos com baixa disponibilidade de N, e sem aplicação de fertilizante nitrogenado, somente culturas com sistema de fixação biológica de nitrogênio (FBN) eficiente, como as leguminosas (soja, caupi, adubos verdes, etc.) podem crescer adequadamente sem aplicação deste nutriente.

No caso de culturas de gramíneas, nas quais, tradicionalmente, se vem aplicando altas doses de N-fertilizante, estudos recentes vislumbram que algumas, como a cana-de-açúcar e o arroz irrigado, podem ser beneficiadas por significativas quantidades de N derivadas da FBN associada a estas plantas (GILLER & WILSON, 1991; OLIVEIRA *et al.*, 1994; CAMPOS, 1995; POLIDORO *et al.*, 2000; BODDEY *et al.*, 2002). Estes estudos se intensificaram a partir do descobrimento da associação de alta especificidade entre a bactéria fixadora de N₂ *Azotobacter paspali* e a gramínea *Paspalum notatum* cultivar batatais (DÖBEREINER, 1966). Esta importante descoberta vislumbrou a possibilidade de estender a FBN para gramíneas e cereais e este tem sido o maior desafio dos profissionais da agricultura nos últimos 20 anos. Recentemente, com a ajuda da biotecnologia, tem-se obtido resultados muito promissores para o melhor entendimento da FBN associada a estas culturas (BRUIJN *et al.*, 1990; DÖBEREINER *et al.*, 1993; JAMES *et al.*, 1994), nas quais vem sendo identificadas diversas bactérias diazotróficas (*Azospirillum lipoferum*, *A. brasiliense*, *A. halopraeferans*, *A. irakense*, *Herbaspirillum seropedicae*, *H. rubrosubalbicans*, *Gluconacetobacter diazotrophicus* e *Burkholderia spp*) que crescem em associação com raízes e/ou filosfera das plantas (BODDEY *et al.*, 1995; CAVALCANTE & DÖBEREINER, 1988; DÖBEREINER & PEDROSA, 1987; GILLIS *et al.*, 1989, 1991; REINHOLD *et al.*, 1987; KHAMMAS *et al.*, 1989).

Apesar de todo o esforço de pesquisadores para otimização da FBN na cultura de cana, é sabido que ainda existe um longo caminho a ser percorrido até que se consiga esta otimização. Para tanto, estudos de longo prazo que avaliem práticas de manejo na contribuição da FBN são de fundamental importância para que se possa elucidar as inconsistências das respostas da adubação nitrogenada para a cultura. Neste capítulo, os objetivos propostos foram:

- Calcular o balanço de nitrogênio e carbono total do sistema solo planta;
- Quantificar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio associada a cultura de cana-de-açúcar pela técnica de balanço de N-total do sistema solo-planta;
- Avaliar o impacto econômico da queima na cultura de cana-de-açúcar.

15. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

15.1. Fixação Biológica de N na Cultura de Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar é uma das culturas de maior influência na economia do Brasil e de muitos países da América Latina e do Caribe. Sua importância vai desde a receita gerada pela produção (açúcar e álcool), como também na balança de pagamentos destes Países (exportação de açúcar, importação de insumos, etc.).

No Brasil vem-se observando, há muitos anos, que a resposta à aplicação de N-fertilizante raramente ocorre em cana planta (AZEREDO *et al.*, 1986; MALAVOLTA *et al.*, 1963; URQUIAGA *et al.*, 1992), razão pela qual os próprios agricultores diminuíram a aplicação de N até o nível de 20-30 kg ha⁻¹ na cana planta em muitas áreas produtivas. Nas soqueiras, as aplicações de N ainda são freqüentes e acima de 60 kg ha⁻¹ de N. A razão do uso de altas doses de N nesta cultura é em grande parte atribuída à falta de fundamentos científicos comprovados, que justifiquem esta redução significativa na aplicação de N-fertilizante, uma vez que as respostas à aplicação deste nutriente são inconsistentes e de difícil previsão.

Os estudos sobre quantificação da FBN associada à cana-de-açúcar começaram no início dos anos setenta, aplicando-se as técnicas de redução de acetileno (medida da atividade da nitrogenase) em raízes de cana (DÖBEREINER *et al.*, 1972), uso de atmosfera marcada com ¹⁵N₂ (RUSCHEL *et al.*, 1975), diluição isotópica de ¹⁵N (FREITAS *et al.*, 1984; URQUIAGA *et al.*, 1992), balanço de N total (LIMA *et al.*, 1987; BODDEY *et al.*, 1987, 1995) e abundância natural de ¹⁵N (YONEYAMA *et al.*, 1997; RESENDE 2000; POLIDORO *et al.*, 2000; BODDEY *et al.*, 2001). Hoje, os diferentes métodos de quantificação da FBN vêm indicando contribuições de até cerca de 70% das necessidades de N das plantas. Observa-se também uma forte influência varietal neste fenômeno, sendo que das variedades comerciais, a SP 70-1143 a CB 45-3 e a RB 72-454 foram as mais eficientes (LIMA *et al.*, 1987; YONEYAMA *et al.*, 1997; POLIDORO *et al.*, 2000; RESENDE 2000, BODDEY *et al.*, 2001.)

15.2. Técnicas de Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio em Gramínea

15.2.1. Diferença de N-total do sistema solo-planta

Esta técnica foi uma das primeiras a ser utilizada para estimar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio em vegetais. Assim como todas as demais metodologia, sua eficiência para estimar a contribuição desta fonte às plantas é maior quanto maior for o nível desta contribuição (HARDARSON *et al.*, 1988).

Os princípios desta técnica baseiam-se em cultivar uma planta referência (não fixadora) e a planta teste (fixadora) em meio pobre em nitrogênio. Assim, estando o meio pobre ou livre de nitrogênio, as únicas fontes de nitrogênio existentes seriam a própria semente, o disponível no meio e o ar. Como premissa básica, esta técnica assume que tanto a planta teste como a testemunha acumulam a mesma quantidade de nitrogênio derivado do meio de cultivo (solo, substrato, etc.). Assim, estando as plantas crescendo em condições idênticas, analisa-se o N-total acumulado pelas duas plantas, fixadora e testemunha, separadamente. Subtraindo-se o N-total acumulado pela planta teste, do N-total acumulado pela planta testemunha obtém-se, por diferença, a contribuição da FBN para a planta teste. O

percentual de contribuição desta fonte às plantas é determinado calculando-se esta proporção (PEOPLES *et al.*, 1989).

Como mencionado, esta técnica se mostra mais eficiente para plantas que apresentem maior nível de contribuição da FBN, assim sua aplicação é mais indicada para plantas da família das leguminosas, que apresentam esta característica. Deve-se ressaltar que esta técnica normalmente apresenta pouca precisão nos resultados e uma provável subestimativa da contribuição da FBN, uma vez que se considera que a planta controle não recebe contribuição de N desta fonte.

15.2.2. Balanço de N-total do sistema solo-planta

Esta técnica é bastante difundida no meio científico e baseia-se em medir as entradas e saídas de N no sistema solo-planta-atmosfera, calculando-se a diferença entre ambos e obtendo-se ganhos de N quando ocorrer fixação. Idealmente, o balanço deve incluir todas as entradas e saídas de N, incluindo-se fertilizantes, chuvas, água de irrigação, lençol freático, lixiviação, desnitrificação, volatilização de amônia, etc., monitorando-se assim todas as formas sólidas, dissolvidas e gasosas de nitrogênio (BODDEY, 1987). Entretanto, tais medições são difíceis de serem obtidas na prática, o que vem acarretando no não monitoramento das formas gasosas de N e também do nitrogênio perdido por lixiviação. Os autores que não monitoraram estas perdas defendem a teoria de que estas seriam iguais para todos os tratamentos, incluindo a testemunha, o que não afetaria a comparação entre os tratamentos, embora possa afetar o valor final encontrado.

Solos ricos em N tendem a aumentar os erros da estimativa da FBN, pois o N acumulado nas plantas é muito inferior ao nitrogênio total presente no solo. Erros associados a amostragem e análise de N afetam grandemente o cálculo do balanço. Um erro de 5%, bastante aceitável em análises laboratoriais, pode corresponder a 100-200 kg ha⁻¹ de N (ALVES *et al.*, 1994). O erro da estimativa do balanço é o somatório dos erros envolvidos em cada estimativa de entrada/saída de N de todas as fontes/drenos (BODDEY, 1987). Devido a esta variabilidade, é desejável a continuação do experimento por longos períodos para que o erro seja inferior a magnitude da mudança do conteúdo de N em um determinado período.

O uso de substratos pobres em N total (vermiculita, horizontes inferiores de solos tropicais, etc.), em relação a um solo normal, aumenta a sensibilidade do método, não obstante as condições de crescimento das plantas serem atípicas. Preferivelmente, os experimentos de quantificação com balanço de N devem ser de longa duração em solos pobres em N e em condições de campo, obtendo-se estimativas mais realistas das entradas e saídas de N no sistema. São poucos os estudos de balanço de N em campo, que monitoram todas essas entradas e podem ser considerados balanços de N com alta confiabilidade (BODDEY, 1987).

Apesar de teoricamente simples e de não exigir equipamentos sofisticados, a metodologia apresenta as desvantagens de não distinguir diretamente se houve a incorporação na planta de qualquer N₂ que tenha sido fixado e de exigir a manutenção do experimento por vários cultivos consecutivos.

15.2.3. Diluição isotópica de ¹⁵N

Atualmente a técnica disponível mais aceita no meio científico para quantificar a FBN numa cultura é a da diluição isotópica de ¹⁵N (BODDEY *et al.*, 1991). Esta técnica tem a

vantagem de ser integradora, permitindo quantificar a contribuição da FBN no ciclo da cultura, do plantio até a colheita, e de se avaliar o N fixado que foi incorporado dentro da planta. Por esta técnica então, pode-se medir o benefício da FBN durante o crescimento das plantas (PEOPLES *et al.*, 1989; BODDEY *et al.*, 2001).

A técnica baseia-se na alteração da proporção entre os isótopos ^{15}N e ^{14}N , acrescentando-se ao substrato das plantas a serem testadas, adubos nitrogenados artificialmente enriquecidos (át.% $^{15}\text{N} > 0,3663$) em proporção conhecida. Plantas que só obtenham nitrogênio do solo marcado possuirão um enriquecimento em ^{15}N semelhante ao deste solo. Por outro lado, plantas que obtenham além do N marcado proveniente do solo, N atmosférico (não marcado), sofrem uma diluição no seu enriquecimento em ^{15}N . Quanto maior a magnitude da diluição, maior a quantidade de N atmosférico incorporado e, por conseguinte, maior a contribuição da FBN.

A aplicação da técnica de diluição isotópica de ^{15}N depende de uma premissa básica: as plantas fixadora e testemunha devem absorver nitrogênio do solo com a mesma marcação. Para satisfazer essa condição é necessário que a marcação de ^{15}N do solo seja estável em profundidade e em tempo, ou que as plantas fixadora e testemunha tenham marcha de absorção de nitrogênio do solo muito semelhantes (BODDEY, 1987). Além disso, outras entradas de nitrogênio no sistema solo-planta como água de irrigação, chuvas, agroquímicos, fertilizantes nitrogenados devam ser de magnitudes desprezíveis, ou iguais tanto para a planta fixadora de N_2 como para a planta testemunha. O nitrogênio total e o enriquecimento de ^{15}N contido nas sementes e mudas devem ser quantificados e levados em consideração, especialmente em leguminosas que forem colhidas precocemente, pois neste caso, o N das sementes, não marcado, poderia diluir (ou concentrar, no caso de semente enriquecida) a composição isotópica das plantas em avaliação (PEOPLES *et al.*, 1989). A planta testemunha não deve fixar nitrogênio, ou a quantidade de nitrogênio fixado deve ser desprezível em relação à quantidade fixada pela planta teste.

A quantificação (%) da fixação biológica de nitrogênio, através da técnica de diluição isotópica de ^{15}N , é calculada conforme a equação abaixo:

$$FBN = 100 * \left(1 - \frac{\text{átom. \% } ^{15}\text{N}_{\text{exc. plantateste}}}{\text{átom. \% } ^{15}\text{N}_{\text{exc. natestemunha}}} \right)$$

Onde:

átom% ^{15}N em excesso = átomos de ^{15}N – abundância natural de ^{15}N (0,3663).

As estimativas da fixação biológica de nitrogênio usando-se a técnica de diluição isotópica de ^{15}N com espécies não leguminosas são relativamente recentes. Em gramíneas, a técnica tem sido aplicada em forrageiras (BODDEY & VICTORIA, 1986; FERREIRA, 1995), cana-de-açúcar (LIMA, 1987; REIS JÚNIOR, 1998, OLIVEIRA *et al.*, 2000) e arroz (OLIVEIRA, 1994; CAMPOS, 1999). E nestes casos, devido a contribuição da FBN normalmente ser menor para estas plantas, a escolha da planta controle correta é ainda mais importante.

15.2.4. Escolha da planta controle

A utilização do crescimento simultâneo de uma planta referência (não fixadora) com a planta teste é justificado para que esta planta possibilite uma amostragem natural do enriquecimento do ^{15}N disponível no solo. Esta característica possibilita a “amostragem” do solo de forma integrativa e não somente de forma pontual como seria o caso da amostragem direta do solo puro e simplesmente. No entanto, para que esta planta controle possa realmente expressar esta condição da melhor forma possível, algumas características se fazem necessárias.

Caso houvesse segurança em se afirmar que a marcação em ^{15}N do solo fosse estável em profundidade, e ao longo do tempo, qualquer planta não-fixadora poderia ser utilizada como testemunha. Entretanto, tal estabilidade é extremamente difícil de se obter em condições de campo, devido a dinâmica do nitrogênio no solo. A diferença em enriquecimento de ^{15}N em profundidade e distância do local de aplicação do adubo marcado (variação espacial) pode ser resultado da não homogeneização do solo com o adubo. Nestas condições, plantas que explorem diferentes volumes de solo absorverão N com diferentes enriquecimentos, levando a estimativas errôneas da FBN (BODDEY & VICTORIA, 1986; PEOPLES *et al.*, 1989). Visando-se eliminar ou reduzir este erro, algumas alternativas têm sido propostas. No caso de leguminosas, a utilização de testemunhas da mesma espécie botânica da planta teste, porém de variedades não nodulantes (ex: soja não nodulante) parece ser uma solução adequada. Não havendo variedade não fixadora disponível, a testemunha deve possuir um sistema radicular semelhante, que explore o mesmo volume de solo. Em forrageiras, as espécies *Brachiaria arrecta* e *Panicum maximum* cv. KK-16 mostraram-se adequadas para servir de controle não-fixador em condições aeróbicas, face aos mínimos valores de contribuição da FBN relatados (BODDEY & VICTORIA, 1986). OLIVEIRA *et al.* (1992) utilizaram várias plantas testemunhas de espécies diferentes para quantificar a FBN em feijão inoculado e concluíram que a utilização de mais de uma testemunha é uma boa estratégia para estimar a contribuição da FBN na planta teste. Entretanto, quando estas condições não são viáveis, a melhor solução é a máxima homogeneização da marcação do solo em profundidade e tempo.

Uma alternativa para atenuar a mudança temporal da marcação de ^{15}N é a utilização de material marcado com lenta liberação de N (BODDEY, 1987), como substratos associados a compostos carbonados como sacarose, glicose, celulose (BODDEY, 1987) e matéria orgânica marcada proveniente de restos vegetais resultantes de experimentos marcados com ^{15}N (URQUIAGA *et al.*, 1992). Outra possibilidade é a aplicação de doses parceladas de ^{15}N (BODDEY & VICTORIA, 1986), que tornam a marcação mais estável.

O tempo que a marcação em ^{15}N do solo leva para estabilizar-se é variável em função das características climáticas, fertilidade do solo e quantidade de ^{15}N aplicada. De maneira geral, ao se adicionar adubo nitrogenado marcado a um solo, a porcentagem de átomos de ^{15}N na solução do solo torna-se alta. Entretanto, o N orgânico não marcado que é mineralizado dilui a marcação de átomos de ^{15}N na fração mineral do nitrogênio do solo, reduzindo sensivelmente a marcação do N disponível após a aplicação. Esta queda na marcação continua em menor intensidade por algum tempo (dependendo da temperatura, teor de matéria orgânica, umidade, etc.), quando a marcação do solo se torna praticamente constante, ou seja, o enriquecimento de ^{15}N na fração potencialmente mineralizável torna-se igual ao enriquecimento na fração mineral do nitrogênio do solo. Diz-se que nesta fase o solo está estável em ^{15}N , sendo então mais apropriado para estudos da quantificação da FBN (BODDEY, 1987).

15.2.5. Uso de $^{15}\text{N}_2$

Na natureza existem dois isótopos estáveis do nitrogênio, o de massa 14 e o de massa 15. No ar, a proporção média em que são encontrados é de 99,6337 e 0,3663 % de átomos de $^{14}\text{N}_2$ e $^{15}\text{N}_2$, respectivamente (JUNK & SVEC, 1958), sendo essa proporção denominada abundância natural de $^{14;15}\text{N}_2$. Pequenas variações nesta relação ocorrem no solo e nas plantas (SHEARER & KOHL, 1986). Compostos nitrogenados com proporções superiores ou inferiores à da abundância natural podem ser produzidos e estão comercialmente disponíveis, podendo o gás N₂ enriquecido com ^{15}N ser adquirido ou produzido em laboratório a partir de sais de amônio marcado.

A exposição de plantas a uma atmosfera com uma composição isotópica de $^{15}\text{N}_2$ superior à abundância natural e a posterior incorporação de $^{15}\text{N}_2$ aos tecidos vegetais é uma prova definitiva de que as plantas se beneficiam da fixação biológica de nitrogênio (BODDEY, 1987). Para a utilização da técnica, é necessário que o N₂ marcado seja puro, livre de compostos nitrogenados, e que a marcação obtida nas plantas seja suficientemente alta para não ser confundida com variações na abundância natural.

A construção de câmaras de incubação e crescimento de sistemas solo-planta é um dos principais obstáculos para a aplicação desta técnica, devido a necessidade de controlar vazamentos de gás nas câmaras. Um outro problema encontrado nesses estudos é a manutenção de uma atmosfera normal para as plantas, controlando-se O₂, CO₂, transpiração, intensidade de luz, temperatura, etc., visando manter o metabolismo vegetal normal. Até o momento, não tem sido possível cultivar plantas nestes sistemas por um ciclo completo da cultura, sendo o tempo máximo de exposição ao ^{15}N inferior a duas semanas. A necessidade de se obter marcações altas nas plantas em períodos relativamente curtos de tempo implica em manter uma atmosfera com alto enriquecimento em $^{15}\text{N}_2$, que, aliada aos elevados custos dos compostos enriquecidos, tornam os ensaios com $^{15}\text{N}_2$ extremamente caros.

15.2.6. Abundância natural de ^{15}N

Nos últimos anos a técnica da abundância natural de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) vem ganhando destaque em nível de campo, principalmente com o aperfeiçoamento da sensibilidade dos espectrômetros de massa. Esta técnica baseia-se no fato de que geralmente, o N do solo é levemente enriquecido com o isótopo ^{15}N em comparação ao N₂ do ar (SHEARER & KOHL, 1986). Devido a discriminação isotópica que ocorre durante as transformações do nitrogênio no sistema solo-planta, o solo pode apresentar valores de ^{15}N um pouco maiores que os encontrados na atmosfera (0,3663%)(SHEARER & KOHL, 1986). Estas variações são extremamente pequenas. Então convencionou-se que cada unidade de delta ^{15}N seria a abundância natural dividida por mil, ou seja, 0,0003663 átomos % de ^{15}N em excesso. Espécies capazes de obter do ar a maior parte do nitrogênio necessário para sua nutrição, apresentarão valores de $\delta^{15}\text{N}$ bem próximos a zero, uma vez que a maior parte virá do N do ar que é o padrão da técnica, e possui 0,3663 % de ^{15}N , ou seja, zero unidades de delta ^{15}N em excesso. Por outro lado, as espécies não fixadoras crescendo no mesmo solo, terão valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais elevados e próximos aos do solo, uma vez que todo ou a maior parte do nitrogênio necessário para o seu desenvolvimento, será derivado do solo.

Esta técnica, como todas as outras utilizadas na determinação da contribuição da FBN para as plantas, também apresenta limitações, exigindo algumas considerações. Assim como as outras técnicas isotópicas aqui descritas, depende da premissa básica de que as plantas fixadoras e não-fixadoras, crescendo no mesmo solo, absorvem nitrogênio com a mesma

marcação com ^{15}N (SHEARER & KOHL, 1986). Esta limitação pode ser contornada selecionando-se espécies-referência, com desenvolvimento radicular e demanda de N semelhantes à planta avaliada. Outra limitação do método consiste no alto custo das análises e a necessidade de um maior cuidado com a manipulação das amostras (BODDEY, 1987). Além das dificuldades descritas acima, é importante considerar também os valores de fracionamento isotópico (valor B) das plantas fixadoras crescendo em meios livres de N. Estas variações se dão ao nível de espécie da planta, das estirpes das bactérias diazotróficas envolvidas, e do estágio e condições de crescimento. Sendo assim, é necessário que se utilize um fator de correção, (valor B), que possa expressar a discriminação isotópica de ^{15}N feita por cada espécie (PEOPLES *et al.*, 1989). Por outro lado, as diferenças que possam existir na exploração do volume do solo pelas raízes das plantas teste e controle e as diferenças na curva de absorção de nutrientes entre elas, são fatores que permitem sugerir o uso de mais de uma planta como referência (SHEARER & KOHL, 1986). O uso desta técnica com os devidos cuidados descritos acima, normalmente apresenta altas correlações com a técnica de diluição isotópica de ^{15}N a partir da aplicação de ^{15}N -fertilizante para marcação do solo. Deve-se considerar que esta técnica também se baseia na diluição isotópica de ^{15}N , portanto as recomendações mencionadas para a técnica de diluição isotópica de “N, na qual se faz necessária a aplicação de “N-fertilizante, são as mesmas neste caso, com a única diferença de que a marcação do solo se dá de forma natural.

16. MATERIAL E MÉTODOS

16.1. Procedimentos de Amostragem do Solo e das Plantas

Os procedimentos de amostragem do solo e das plantas foram os mesmos descritos no capítulo I.

16.2. Análise de N-Total do Solo e da Planta

As análises de Nitrogênio total do solo e das plantas foram feitas conforme metodologia descrita por BREMNER & MULVANEY (1982).

16.3. Balanço de Nitrogênio no Sistema Solo/Planta e Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) Associada à Cultura de Cana-de-Açúcar

A contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de cana-de-açúcar foi quantificada através da técnica de balanço de N-total do sistema solo-planta (BODDEY *et al.*, 1997). Esta técnica consiste em quantificar o N-total do solo no início e no final do experimento descontando-se o N-total acumulado pelas plantas a cada ano. Um balanço positivo significa que estaria havendo uma entrada de nitrogênio no sistema solo-planta. Com o nível de conhecimento atual, acredita-se que este ingresso de nitrogênio só possa ser atribuído ao processo biológico de fixação de nitrogênio.

$$\text{N}_{\text{FBN}} = \text{N}_{\text{total}} \text{ final no sistema solo/planta} - \text{N}_{\text{total}} \text{ inicial no sistema solo/planta}$$

Onde:

N-total final no sistema solo-planta= N-total do solo na colheita final + N-acumulado na parte aérea da cana em todas as colheitas, que corresponde às saídas.

N-total inicial no sistema solo planta= N-total do solo no plantio + N-fertilizante adicionado (em todos os anos) + N adicionado com a aplicação de vinhaça (em todos os anos) + N contido na palha nas parcelas onde esta não foi queimada (em todas as colheitas, exceto a última) + N total na bandeira (em todas as colheitas, exceto a última), que corresponde às entradas.

Para aplicação desta técnica, o solo foi analisado para N-total nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm e nas diferentes partes das plantas (colmo, palha e bandeira). O solo foi amostrado no início do experimento e ao final da segunda fase (1983 e 1999). Nestas ocasiões, com auxílio de anel de Kopeck, foram retiradas amostras de solo para determinação de sua densidade aparente em cada camada. Assim foi possível determinar a massa de solo existente em cada profundidade e, associando-se os valores encontrados ao teor de nitrogênio do solo, determinou-se o estoque deste nutriente em cada camada.

Anualmente, na ocasião da colheita, toda a parte aérea (colmo + palha + bandeira) foi pesada e amostrada para determinação de seu conteúdo de matéria seca. Estas amostras foram posteriormente moídas em moinho de facas “tipo Wiley” e analisadas para N-total. Assim, foi possível quantificar-se a contribuição da FBN para a cultura de cana após 16 anos de cultivo. Neste trabalho as possíveis perdas de nitrogênio por lixiviação, ou volatilização não foram quantificadas assim como o possível ingresso de N via descargas elétricas.

16.4. Balanço de Carbono do Sistema Solo/Planta

Tendo por base a técnica de balanço de N-total do sistema solo/planta, foi efetuado neste estudo o balanço de carbono total do sistema. Para tanto foram quantificados o C-Inicial do solo (1983), o C-final do solo (1999) e o carbono contido na matéria seca da cana-de-açúcar nos diferentes tratamentos. Este estudo só foi realizado até a profundidade de 20 cm.

O balanço foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\text{Balanço de C} = \text{C}_{\text{final do solo}} - \text{C}_{\text{inicial do solo}}$$

Onde:

C-final do solo é o conteúdo de carbono no solo no final do experimento + o total de carbono acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar nas 14 colheitas, que correspondem às saídas;

C-inicial do solo é o conteúdo de carbono inicial do solo + o carbono adicionado com a aplicação de vinhaça + o carbono contido na palha em todas as colheitas (exceto a última) + o carbono contido na bandeira em todas as colheitas (exceto a última), que correspondem às entradas.

Nesta metodologia não foram consideradas perdas de carbono por respiração do solo, ou por decomposição do material orgânico adicionado ao solo, embora sua estimativa tenha sido feita com base nos dados apresentados no capítulo II.

17. RESULTADOS E DISCUSSÃO

17.1. Produção de Matéria Seca da Parte Aérea da Cana-de-Açúcar

Considerando-se a matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar como um todo (colmo + palha + bandeira), destaca-se que os valores após 14 colheitas oscilaram entre 230 Mg e 430 Mg nas parcelas com e sem queima, respectivamente. Os valores aqui encontrados indicam um acúmulo anual de cerca de 16 e 30 Mg ha⁻¹ de matéria seca nas plantas submetidas a estes tratamentos. Estes resultados são melhor observados quando se analisa o desdobramento desta tabela, em colmos, palha e bandeira (Tabelas 28 a 31). A aplicação de nitrogênio e/ou de vinhaça não influenciou este acúmulo de forma consistente ao longo do período experimental.

Em relação à matéria seca da palha de cana, nota-se que esta representou um potencial de adição ao solo de cerca de 150 Mg ha⁻¹ nas 14 colheitas, o que equivale à cerca de 11 Mg ha⁻¹ por colheita (Tabela 29). Estes valores representariam aproximadamente 70 Mg ha⁻¹ de carbono que poderia ser adicionado ao solo neste período. Extrapolando-se este valor para a área total da usina (12.000 ha), temos que somente a manutenção da palhada possibilitaria uma adição de 1.800.000 Mg de palha e cerca de 810.000 Mg de carbono depositados no solo anualmente. Estes valores são representativos e demonstram a importância da palha, não somente para a manutenção da umidade do solo e controle de ervas daninhas, mas também para a sua fertilidade e até mesmo para a mitigação das emissões de CO₂. Embora seja de pequena magnitude em relação às emissões globais, causam um imenso conforto às cidades vizinhas ao cultivo, que na ocasião da colheita têm que conviver com o incômodo da fumaça e da fuligem nas estradas e em suas casas.

Pela Tabela 30 nota-se que a influência da queima foi negativa também no acúmulo de matéria seca de colmos, assim como havia sido para a produção de colmos frescos, superando em cerca de 40 Mg o tratamento onde a queima da palha vinha sendo realizada. Note-se que a aplicação da vinhaça também favoreceu este acúmulo após 18 anos de cultivo. Não houve resposta a fertilização nitrogenada.

O acúmulo de matéria seca da bandeira também só foi percebida nos tratamentos com queima (20,0 Mg) e sem queima (29,5 Mg ha⁻¹) (Tabela 31). Admitindo-se então que tanto a palha como as folhas bandeira permanecem sobre o solo após a colheita de cana crua, conclui-se que a quantidade de restava depositada foi de 175 Mg ha⁻¹ durante todo o período experimental e nas parcelas não queimadas foi de somente 20 Mg ha⁻¹. Considerando-se a manutenção da fertilidade e da umidade do solo, principalmente nesta região, onde o regime pluviométrico é inconstante e mal distribuído, têm-se, em função dos valores de produção de colmos, a importância da manutenção da palhada para este agrosistema.

Tabela 28. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima, na matéria seca total da parte aérea da cana-de-açúcar - 1985-1999.

Tratamentos	Matéria seca total da parte aérea ($Mg\ ha^{-1}$)															Total Geral
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	46,3	30,0	34,9b	18,9	23,8	18,0	16,5	23,8	212,2	16,2	20,9b	17,1b	18,9b	24,5	11,5	321,4
Com Vinhaça	55,1	31,1	37,9a	19,8	26,8	21,0	18,5	24,3	234,6	18,1	24,5a	19,0a	24,1a	25,5	13,1	358,8
Com Queima	35,8	24,1	24,8b	12,1b	17,6b	13,6b	11,6b	13,4b	152,8b	10,3b	16,1b	10,3b	13,8b	18,1b	7,1b	228,6b
Sem Queima	46,2	37,0	48,1a	26,6a	33,0a	25,5a	23,4a	34,7a	274,5a	20,9a	29,4a	25,7a	29,3a	31,9a	17,5a	429,1a
Sem Nitrogênio	44,0	31,3	34,8	18,7	26,0	20,0	17,8	23,4	216,0	17,5	20,9b	16,1b	21,7	24,2	12,2	328,6
Com Nitrogênio	47,8	29,8	38,0	20,0	24,6	19,1	17,2	24,7	221,2	16,8	24,5a	19,9a	21,4	25,8	12,4	342,0
<i>Interações * *</i>																
															***S/V; C/Q 10,3c 13,6c S/V; S/Q 23,8b 24,4b C/V; C/Q 10,4c 14,0c C/V; S/Q 27,7a 34,2a	
CV%	12,21	16,41	16,02	16,15	18,95	15,47	20,89	16,56	17,21	7,81	14,49	13,71	18,49	22,37	11,26	14,09

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

Tabela 29. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima na matéria seca da palha da cultura de cana-de-açúcar. 1985-1999.

Tratamentos	Matéria seca total da parte aérea ($Mg\ ha^{-1}$)															Total Geral
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total I ^a fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	12,1	6,2	9,4	4,9	6,1	3,4	5,0	7,7	54,6	3,5	2,9b	4,0	3,8	4,2	2,8	75,7
Com Vinhaça	14,4	6,6	10,7	5,7	5,9	4,3	5,3	6,0	58,8	4,0	3,7a	4,2	5,2	4,2	3,3	83,4
Com Queima	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b
Sem Queima	12,6a	12,5a	20,1a	10,6a	12,0a	7,6a	10,3a	13,7a	99,3a	7,5a	6,7a	8,2a	9,0a	8,3a	6,1a	145,0a
Sem Nitrogênio	13,2	6,3	9,4	5,1	5,5	3,9	5,1	6,5	55,0	3,7	3,1b	4,0	4,8	4,0	2,69b	77,2
Com Nitrogênio	13,8	6,4	10,6	5,5	6,4	3,7	5,7	7,2	59,4	3,8	3,6a	4,2	4,2	4,4	3,38a	82,9
CV%	27,42	30,28	30,59	28,56	44,03	28,92	43,86	36,67	34,34	24,89	20,06	26,59	37,76	38,28	23,41	27,45

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

Tabela 30. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima na matéria seca dos colmos de cana-de-açúcar. 1985-1999.

Tratamentos	Matéria seca do colmo ($Mg\ ha^{-1}$)														Total geral	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	32,5	21,5	23,1	13,3	16,5	13,0	10,1b	14,0	144,0b	11,5	16,4	11,8b	11,8b	18,1	8,1	221,8b
Com Vinhaça	38,3	22,4	24,8	13,2	19,8	14,9	11,9a	15,9	161,2a	12,9	19,0	13,3a	15,0a	19,0	9,2	249,5a
Com Queima	34,5	21,9	23,1	11,7b	16,9b	12,3b	10,3b	11,3b	142,0b	12,3	14,8b	9,2b	10,7b	15,9b	6,6b	211,6b
Sem Queima	31,4	21,9	24,8	14,7a	19,4a	15,7a	11,8a	18,6a	158,3a	12,1	20,6a	15,8a	16,1a	21,1a	10,8a	254,8a
Sem Nitrogênio	29,2	22,7	22,7	12,7	19,2	14,2	11,3	14,8	146,8	12,5	16,1b	10,6b	13,3	18,1	8,8	226,2
Com Nitrogênio	31,4	21,1	25,1	13,8	17,1	13,7	10,8	15,2	148,2	11,9	19,3a	14,4a	13,6	18,9	8,5	234,9
<i>Interações **</i>																
									***S/V; C/Q	9,27c	10,5b					
									S/V; S/Q	14,3b	13,2b					
									C/V; C/Q	9,2c	10,9b					
									C/V; S/Q	17,3a	19,1a					
CV%	13,01	14,49	15,39	15,48	17,78	17,15	15,89	13,86	11,10	8,82	15,33	14,13	21,17	21,71	10,91	10,89

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

Tabela 31. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima na matéria seca da bandeira da cultura da cana-de-açúcar. 1985-1999.

Tratamentos	Matéria seca da bandeira ($Mg\ ha^{-1}$)														Total Geral	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total 1ª fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	1,7	2,4	2,4	0,7	1,2	1,6	1,3	2,1	13,5	1,2	1,6	1,3	3,3	2,3	0,6	23,9
Com Vinhaça	2,4	2,2	2,6	0,9	1,1	1,8	1,3	2,4	14,6	1,2	1,8	1,5	3,9	2,3	0,6	25,9
Com Queima	1,3	1,9	1,7b	0,4b	0,6b	1,3b	1,3	2,1	10,6b	0,9b	1,3b	1,1b	3,1b	2,2	0,6	19,8b
Sem Queima	2,2	2,7	3,3a	1,2a	1,6a	2,2a	1,3	2,4	16,9a	1,4a	2,1a	1,8a	4,2a	2,4	0,7	29,4a
Sem Nitrogênio	1,6	2,3	2,7a	0,9a	1,3	1,8	1,4	2,2	14,2	1,3a	1,7	1,5	3,6	2,2	0,4b	24,8
Com Nitrogênio	2,6	2,3	2,3b	0,6b	1,0	1,6	1,2	2,3	14,0	1,1b	1,6	1,4	3,6	2,5	0,5a	24,7
<i>Interações * *</i>																
***S/V; C/Q	0,4c									S/V; C/Q	3,1b					
S/V; S/Q	1,1b									S/V; S/Q	3,6b					
C/V; C/Q	0,4c									C/V; C/Q	3,0b					
C/V; S/Q	1,4a									C/V; S/Q	4,7a					
C/Q; S/N	0,5c									C/Q; S/N	1,3bc					
C/Q; C/N	0,3c									C/Q; C/N	0,9c					
S/Q; S/N	1,5a									S/Q; S/N	1,7ab					
S/Q; C/N	0,9b									S/Q; C/N	1,8a					
CV%	18,27	27,21	19,41	20,12	39,49	29,61	24,44	29,24	24,45	23,25	25,07	20,90	18,27	29,15	51,85	22,12

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

17.2. N-Total Acumulado pela Cultura de Cana

O N-total acumulado pelas plantas de cana-de-açúcar esteve diretamente relacionado com o tratamento aplicado, que influenciando a produção de biomassa das plantas, foi determinante para o acúmulo de nitrogênio nas plantas. Foram avaliados o acúmulo de N-total nas diferentes partes das plantas (colmo, palha ou bandeira).

Na palhada, constata-se que estes valores foram muito expressivos e situados acima de 260 kg ha⁻¹ durante o período experimental (Tabela 32). Considerando-se somente o tratamento no qual se manteve a palhada no sistema, pode-se dizer que esta manteve no sistema cerca de 524 kg ha⁻¹ de N nas 14 colheitas efetuadas. Este valor é expressivo, principalmente quando se considera que no Brasil, são aplicados cerca de 60-80 kg ha⁻¹ ano de N, em média. Por estes resultados, pode-se dizer que a manutenção da palha no sistema comparado com a queima foi equivalente há uma adubação de 40 kg ha⁻¹ de N, anualmente. Com o manejo tradicional de queima do palhiço antes do corte estas quantidades seriam perdidas, empobrecendo o solo e demandando maior necessidade de adubação nitrogenada. Os valores de N-total acumulados pela palha oscilaram entre 10 e 70 kg ha⁻¹ a cada ano, acompanhando de forma direta a produtividade de colmos.

Ainda considerando-se o total de nitrogênio possível de ser mantido no sistema após a colheita, nota-se que o acumulado na bandeira, que também é depositada sobre o solo após a colheita, oscilou entre 150 e 230 kg ha⁻¹ de N, para os tratamentos com e sem queima, respectivamente, após 14 colheitas (Tabela 33). O N-total contido nessas duas partes das plantas (palha + bandeira), sob o tratamento sem queima, estiveram próximos a 770 kg ha⁻¹ de N no período considerado, o que seria equivalente à aplicação de cerca de 55 kg ha⁻¹ de N fertilizante. Este valor se encontra muito próximo da média de nitrogênio aplicado anualmente na cultura de cana no Brasil. Deve-se destacar que a produção de colmos nos tratamentos sem queima prévia do canavial foi muito similar ao obtido com a aplicação de N-fertilizante (Tabela 3). Este resultado é melhor compreendido após a análise da Tabela 34 e 35, que indicam que além das vantagens que a resteva da cultura possui como cobertura morta, neste estudo ainda se comportou como uma excelente fonte de nitrogênio para a cultura. A manutenção deste material vegetal no solo possibilita o aproveitamento pela planta, nas colheitas subsequentes e, no caso deste experimento, possibilitando produtividades maiores que àquelas obtidas quando se queimava a palha e se aplicava 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio anualmente .

Tabela 32. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na palhada da cana-de-açúcar. (1985-1999).

Tratamentos	N-total palha (kg ha ⁻¹)														Total Geral	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total I ^a fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	36,9	38,9	28,5	16,3	20,0	10,3	18,2	23,7	192,8	10,1	8,7b	17,5	13,2	18,2	11,0	271,5
Com Vinhaça	40,6	47,6	33,3	20,5	21,0	13,3	16,1	18,4	210,9	11,8	11,4a	18,6	15,8	18,6	14,3	301,3
Com Queima	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b
Sem Queima	72,1a	43,2a	61,9a	36,8a	40,9a	23,6a	34,3a	42,1a	354,9a	21,9a	20,2a	36,0a	29,0a	36,8a	25,2a	524,1a
Sem Nitrogênio	42,8	41,7	28,7	16,7	18,5	11,8	15,4	19,2	194,8	10,2	8,9b	16,0	13,4	15,9	10,4b	269,6
Com Nitrogênio	47,2	44,7	33,2	20,1	22,4	11,8	18,9	22,9	221,2	11,7	11,2a	20,1	15,6	20,9	20,7a	321,4
<i>Interações**</i>																
									***SV; S/V	18,9ab						
									S/V; C/V	28,5a						
									C/V; S/V	19,6ab						
									C/V; C/V	17,3b						
CV%	29,11	32,84	41,88	37,71	54,97	33,83	67,04	36,60		29,9	23,96	31,41	31,32	42,37	32,54	

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, no diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

Tabela 33. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na bandeira da cana-de-açúcar (1985-1999).

Em relação à aplicação de N-fertilizante observou-se que esta não ocasionou um aumento significativo no teor de N-total na palha. O mesmo pode ser dito para a aplicação de vinhaça que não favoreceu de forma significativa o acúmulo de N pela planta, embora observa-se a forte tendência desta em ser positiva.

O N-total acumulado nos colmos nas 14 colheitas, oscilou entre 580 kg ha⁻¹ (tratamento sem aplicação de nitrogênio) e 745 kg ha⁻¹ (tratamento sem queima do palhço antes do corte) (Tabela 34). De uma maneira geral tanto a aplicação de vinhaça, quanto a de nitrogênio e a manutenção da palhada no sistema favoreceram o acúmulo de nitrogênio nos colmos na ordem de 12; 26 e 21%, respectivamente. Assim, em função do tratamento aplicado foram exportados do sistema entre 580 e 745 kg ha⁻¹ de N, durante o período experimental que, somados ao nitrogênio perdido com a queima da palha ultrapassou 1000 kg ha⁻¹ de N, perdidos de forma direta. Esta grande retirada deste nutriente do sistema indica que existe algum mecanismo de reposição natural de nitrogênio associado a cultura, caso contrário, não seria possível um solo, por mais fértil que fosse, manter sua capacidade produtiva com tamanha extração deste nutriente. Este forte indicativo reforça os resultados obtidos por diversos autores em que a contribuição da fixação biológica de nitrogênio vem sendo descrita como fundamental para a nutrição nitrogenada da cultura e que, dependendo da variedade pode chegar até a 70% do N-total acumulado pela planta (LIMA, 1987; URQUIAGA *et al.*, 1992; RESENDE, 2000; POLIDORO *et al.*, 2000; BODDEY *et al.*, 2001).

Tabela 33. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na bandeira da cana-de-açúcar (1985-1999).

Tratamentos	N-total Bandeira (kg ha^{-1})														Total Geral	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total I ^a fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	17,7	15,9	14,3	7,5	8,7	12,0	17,2	20,1	113,4	9,7	14,6	10,4	20,2b	18,5	3,9	190,6
Com Vinhaça	24,0	15,8	15,5	7,7	9,2	13,1	18,0	22,9	126,2	9,2	16,7	11,8	23,7a	17,6	4,1	209,3
Com Queima	9,0	13,2	8,9b	4,5b	4,5b	8,9b	16,8	19,3b	85,0b	7,9b	11,4b	7,9b	18,4b	16,3	3,6	150,4b
Sem Queima	10,8	18,9	20,9a	10,7a	13,4a	16,2a	18,5	24a	133,3a	11,1a	19,9a	14,2a	25,5a	19,8	4,4	228,2a
Sem Nitrogênio	20,1	15,9	15,3	9,2a	9,1a	13,2	18,2	19,1b	120,0	9,6	15,4	10,6	21,8	15,4b	4,7	197,3
Com Nitrogênio	18,6	16,1	14,5	5,9b	8,8	12,0	17,1	24,24a	117,1	9,4	15,9	11,6	22,1	20,7a	3,3	200,0
<i>Interações * *</i>																
***S/V; C/Q 18,9b S/V; S/Q 21,4b C/V; C/Q 17,8b C/V; S/Q 29,6a																
CV%	19,11	28,48	22,87	50,67	41,15	34,78	23,26	27,41		24,48	26,37	23,81	21,37	30,69	52,02	

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

Tabela 34. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado nos colmos da cana-de-açúcar (1985-1999).

Tratamentos	N-total Colmos (kg ha^{-1})														Total Geral	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total I ^a fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	112,3	57,1	53,9	37,8	49,1	38,4	34,8	30,2	413,6	23,2	33,4	35,3	33,4	50,8	38,0	627,6
Com Vinhaça	117,8	59,3	66,5	40,1	53,2	43,9	40,5	34,2	455,5	26,0	38,4	42,2	42,0	56,2	40,1	700,3
Com Queima	129,2	60,3	54,1	34,3b	49,0	35,9b	34,2	24,3b	421,5b	25,8	31,3b	30,0b	31,3b	46,9b	27,9b	614,8b
Sem Queima	131,8	55,8	66,3	43,7a	53,3	46,4a	41,1	39,9a	478,3a	23,4	40,5a	47,5a	44,0a	59,9a	50,1a	743,8a
Sem Nitrogênio	98,0	56,6	52,1	31,3b	48,0	34,8b	33,4	26,3b	380,5b	24,2	31,2b	25,4b	35,5	53,1	28,7b	578,5b
Com Nitrogênio	113,6	59,3	68,3	46,7a	54,4	47,4a	41,9	37,9a	469,6a	25,0	40,6a	52,11a	39,9	53,9	49,3a	730,4a
<i>Interações * *</i>																
***S/V; C/Q	53,7b							S/V; C/Q							31,4b	31,1c
S/V; S/Q	54,1b							S/V; S/Q							39,1b	35,6b
C/V; C/Q	54,5b							C/V; C/Q							28,6b	31,6c
C/V; S/Q	78,4a							C/V; S/Q							55,9a	52,4a
CV%	15,02	15,27	22,42	16,99	24,09	21,91	31,71	22,43		22,65	28,5	30,32	23,75	22,39	36,68	

*Valores não procedidos de letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

O N-total acumulado na parte aérea oscilou entre 765 e 1500 kg ha⁻¹ de N nas parcelas com e sem queima, respectivamente (Tabela 44). Mais uma vez, tanto a aplicação de vinhaça (11%), como a de nitrogênio (19%) e a manutenção da palhada (95%) favoreceram o acúmulo de nitrogênio na planta.

Esta grande diferença no acúmulo de N entre os tratamentos com e sem queima se deveu, em parte, pela própria manutenção da palhada, que como visto na Tabela 32, representou mais de 500 kg ha⁻¹ de N, durante o período experimental. Este resultado é um forte indicativo do potencial desta prática em favorecer a ciclagem de N no sistema, diminuindo assim sua dependência de fertilizantes nitrogenados.

Mais uma vez os resultados indicam que num planejamento ou numa análise de curto prazo, o nitrogênio perdido com a queima da palha pode não ser muito significativo em relação ao nitrogênio total do solo, mas em médio e longo prazo, esta perda acaba acarretando numa maior necessidade de reposição do nitrogênio do solo via aplicação de N-fertilizante, o que acaba implicando em custos crescentes com a aquisição e aplicação deste elemento.

Tabela 35. Efeito das aplicações de vinhaça, nitrogênio e da queima no N-total acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar (1985-1999)

Tratamentos	N-total parte aérea (kg ha ⁻¹)															Total Geral
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	Total 1 ^a fase	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Sem Vinhaça*	166,9	112,1	96,7	61,6	77,8	60,7	70,2	74,3	720,2	43,0	56,7	63,1	66,8	87,5	52,8	1090,1
Com Vinhaça	182,4	122,8	115,3	68,2	83,4	70,3	74,7	75,5	792,6	47,0	66,5	72,6	81,5	92,4	58,4	1211,0
Com Queima	138,2	77,4b	63,0b	38,7b	53,5b	40,8b	51,0b	43,6b	506,3b	33,7	42,6b	37,9b	49,7b	63,2b	31,5b	765,0b
Sem Queima	214,7	117,5a	149,0a	91,1a	107,6a	86,2a	93,8a	106,1a	966,1a	56,4	80,6a	97,7a	98,5a	116,6a	79,7a	1495,7a
Sem Nitrogênio	160,9	114,8	96,0b	57,2b	75,6	59,8b	67,0	64,7b	696,0b	44,0	55,5b	51,9b	70,6	84,4	43,8	1046,1b
Com Nitrogênio	179,4	119,9	115,9a	72,6a	85,6	71,2a	77,9	85,1a	807,6a	46,1	67,7a	83,8a	77,7	95,5	67,5	1245,8a
<i>Interações **</i>																
															***S/V; S/N	42,2c
															S/V; C/N	83,9a
															C/V; S/N	61,5b
															C/V; C/N	83,6a
															S/V; C/Q	39,0c
															S/V; S/Q	50,0c
															C/V; S/Q	87,1b
															C/V; C/Q	83,4b
															C/V; S/Q	36,9c
															C/V; C/Q	49,3c
															C/V; S/Q	108,2a
															C/V; C/Q	113,5a
CV%	20,70	20,50	20,20	19,50	25,33	20,36	28,34	16,73		22,2	14,49	19,34	18,14	22,73		28,32

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$)

**Valores seguidos por mesma letra, em cada coluna, na interação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$)

***S=Sem; C=Com; V=Vinhaça; Q=Queima; N=Nitrogênio

17.3. Balanço de Nitrogênio no Sistema Solo-Planta e Estimativa da Contribuição da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

Associando-se então o N-total acumulado pela parte aérea e o N-total contido no solo no início e no final do período de avaliação (1983-1999), foi possível fazer o balanço de N-total do sistema solo-planta (Tabela 36). O nitrogênio inicial do sistema foi composto pelo N-total no solo na ocasião do plantio (1983), somado ao N proveniente do fertilizante e da vinhaça nos tratamentos em que estes tratamentos foram aplicados, além do nitrogênio contido na palha e na bandeira que retornaram ao solo após a colheita.

O nitrogênio final do sistema solo-planta é o resultado do somatório do N do solo no fim do experimento (1999) e do nitrogênio acumulado pela parte aérea das plantas nas 14 colheitas.

Nota-se pela Tabela 36 que o resultado do balanço de N considerando 20 cm de profundidade do solo, foi positivo para os tratamentos nos quais manteve-se a palha no sistema (38 kg ha^{-1}) ou não se aplicou nitrogênio (178 kg ha^{-1}), sendo negativo para os demais. A prática da queima propiciou um empobrecimento no conteúdo de nitrogênio do solo de cerca de 317 kg ha^{-1} . O tratamento no qual aplicou-se nitrogênio apresentou o resultado mais negativo (495 kg ha^{-1}). Estes resultados são melhor compreendidos quando se analisa toda a Tabela 36. A metodologia de balanço de N-total é muito similar ao balanço econômico de uma empresa no qual quantifica-se todas as entradas e saídas e, calculando-se a diferença entre ambas, têm-se o lucro ou o prejuízo que a empresa proporcionou no tempo considerado. Assim, quanto maior o investimento inicial, maior deve ser o retorno para que o balanço seja positivo. A metodologia de balanço de N-total, é vista da mesma forma, quanto maior a aplicação de N (via fertilizante, ou vinhaça) ou maior a deposição de N via material vegetal (palha e bandeira), maior teria que ser a exportação de N via colmos ou maior teria que ser o conteúdo de N no solo no final do experimento. Neste sentido os resultados apresentam forte coerência com o esperado pela técnica. O solo perdeu em nitrogênio com o cultivo de cana-de-açúcar com mais intensidade nos tratamentos com nitrogênio (-495 kg ha^{-1}), com queima (-317 kg ha^{-1}) e com vinhaça (-291 kg ha^{-1}) além do tratamento sem vinhaça (-40 kg ha^{-1}), e ganhou nos tratamentos sem queima (38 kg ha^{-1}) e sem nitrogênio (178 kg ha^{-1}). Com esta técnica estima-se a contribuição da FBN para as plantas. Um balanço positivo significa exatamente a contribuição desta fonte às plantas. No entanto, é sabido que neste estudo esta quantidade está subestimada uma vez que as perdas do sistema não foram consideradas, admitindo-se portanto que todo o nitrogênio contido no fertilizante nitrogenado, na vinhaça, na palha e na bandeira da cana, ficaram no sistema, desprezando-se as perdas por desnitrificação, lixiviação e volatilização de nitrogênio. Isto posto, possivelmente quanto maior a fonte de entrada de nitrogênio, maior seriam as perdas.

Assim, mesmo que neste experimento o balanço de nitrogênio do sistema expresse os resultados de 16 anos de cultivo (14 colheitas), o que minimiza os problemas com esta técnica em função do grande volume de nitrogênio acumulado pelas plantas, fica claro que esta técnica depende muito de um melhor controle de entradas e saídas de nitrogênio, além das controladas neste estudo. No entanto é factível imaginar que a contribuição da FBN para as plantas foi bem maior que a calculada por esta técnica.

Tabela 36. Balanço de nitrogênio no sistema solo/planta. (0-20 cm).

Tratamentos 0-20 cm	Balanço de N	Solo		Fertilizantes			Planta	
		N inicial	N final	N- fert	N- vinhaça	N- palha	N- band	N-total paarea
Sem Vinhaça	-40	2809	2606	480	0	261	187	1090
Com Vinhaça	-291	3014	2724	480	240	287	206	1211
Com Queima	-317	2897	2562	480	120	0	147	765
Sem Queima	38	2926	2791	480	120	499	224	1496
Sem Nitrogênio	178	2943	2647	0	120	259	259	1046
Com Nitrogênio	-495	2876	2713	960	120	301	197	1246

Considerando-se toda a profundidade de solo avaliada neste estudo (0-60 cm) nota se mais uma vez que os tratamentos com vinhaça (-1140 kg ha⁻¹); com nitrogênio (-1090 kg ha⁻¹) e com queima (-855 kg ha⁻¹) apresentaram o balanço mais negativo do sistema. Já os tratamentos sem vinhaça (350 kg ha⁻¹); sem nitrogênio (266 kg ha⁻¹) e sem queima (74 kg ha⁻¹), favoreceram o balanço de nitrogênio (Tabela 37). Mais uma vez deve-se ressaltar o já exposto para a profundidade de 0-20 cm, que a falta de controle de perdas de nitrogênio do sistema provavelmente superestimou os balanços negativos e subestimou os positivos. Mais ainda assim, este estudo concorda com o de outras autores que afirmam que a fixação biológica de nitrogênio é responsável por boa parte da necessidade nitrogenada da cultura de cana (DÖBEREINER, 1959, LIMA *et al.*, 1987, URQUIAGA *et al.*, 1992, YONEYAMA, 1997, RESENDE, 2000, POLIDORO *et al.*, 2000).

A estimativa percentual da contribuição da FBN para as plantas, neste estudo oscilou entre 0 (tratamentos com vinhaça, com queima e com nitrogênio) e 32% (tratamento sem aplicação de vinhaça). Este percentual é relativamente baixo quando comparado com os resultados de outros autores (LIMA *et al.*, 1987, URQUIAGA *et al.*, 1992, YONEYAMA, 1997, RESENDE, 2000, POLIDORO *et al.*, 2000), mas muito promissor uma vez que representa não um valor num ano isolado e sim um valor médio de todos os 16 anos em que o experimento foi conduzido. Torna-se ainda mais promissor quando se considera que o não monitoramento das perdas de nitrogênio neste experimento, acarreta numa subestimativa desta contribuição, estimula justamente a busca de um melhor entendimento do sistema visando otimizar o potencial de contribuição da FBN que a cultura apresenta.

Tabela 37. Balanço de nitrogênio no sistema solo/planta (0-60 cm)

Tratamentos 0-60 cm	Balanço de N	Solo		Fertilizantes			Planta	
		N inicial	N final	N-fert	N-vinhaça	N-palha	N-band	N-total paarea
Kg ha ⁻¹								
Sem Vinhaça	350	6555	6672	480	0	261	187	1090
Com Vinhaça	-1140	7234	6096	480	240	287	206	1211
Com Queima	-855	6928	6054	480	120	0	147	765
Sem Queima	74	6792	6693	480	120	499	224	1496
Sem Nitrogênio	266	6920	6712	0	120	259	259	1046
Com Nitrogênio	-1090	6800	6042	960	120	301	197	1246

Pelas tabelas apresentadas de balanço de nitrogênio no sistema, ao considerar-se somente as entradas e saídas, excluindo o solo, nota-se que o balanço seria de -162; +2; 18; -173; -408 e +332 kg ha⁻¹, para os tratamento sem vinhaça, com vinhaça, com queima, sem queima, sem nitrogênio e com nitrogênio, respectivamente. Estes resultados indicam que somente o tratamento com adubação nitrogenada e com aplicação de vinhaça, implicaram num aporte positivo de nitrogênio ao solo de forma direta, mas como demonstrado pelo balanço do sistema solo/planta, este aporte não foi mantido no sistema, e assim, é possível admitir que as perdas nestes tratamentos foram muito grandes, quando comparada aos demais. Assim, nota-se que a manutenção da palhada se mostra como uma boa alternativa de manejo conservacionista.

17.4. Balanço de Carbono no Sistema Solo/Planta.

Na ocasião da instalação do experimento (1983) foram feitas análises de carbono do solo até a profundidade de 20 cm. Assim foi possível fazer o balanço de carbono do sistema solo-planta só até esta profundidade.

O carbono inicial do solo é resultante do seu conteúdo original (1983), adicionado do carbono contido na palha e na bandeira que ficaram no sistema, em cada um dos tratamentos. No tratamento onde aplicou-se vinhaça foi considerado um total de 1875 kg ha⁻¹ de carbono a cada ano ingressado por esta fonte ao sistema. Este valor foi baseado na informação dos teores médios de carbono informado por diferentes autores (Tabela 1).

O carbono final do solo foi determinado em função do conteúdo de carbono encontrado no fim do experimento (1999), somado ao carbono exportado pela parte aérea das plantas.

O balanço propriamente dito foi justamente a diferença entre um e outro. Pela Tabela 38 é possível constatar que os balanços mais positivos foram obtidos nos tratamentos em que se manteve a palhada no sistema, ou não se aplicou vinhaça. A manutenção da palhada favoreceu o balanço em cerca de 35% quando comparado ao tratamento em que eliminou-se a palha pela queima. A não aplicação de vinhaça promoveu um balanço de carbono 47% superior ao tratamento onde este sub-produto da indústria foi aplicado. A adubação nitrogenada, como esperado, não promoveu um balanço de carbono significativo, incrementando-o somente em 4% quando comparado ao tratamento

que não se aplicou nitrogênio. Estes resultados são promissores e indicam a importância da palha como fonte de matéria orgânica.

Com o resultado do balanço de carbono do sistema, nota-se que este foi positivo e representou um ingresso no sistema solo-planta de 3850 a 5700 kg ha⁻¹ de carbono por colheita, para os tratamentos com e sem aplicação de vinhaça, respectivamente. No entanto, como pôde ser observado até aqui, somente um pequeno percentual deste carbono foi efetivamente incorporado ao solo, indicando que a maior parte é perdido no processo de decomposição. O balanço foi elevado não somente em função do grande número de colheitas como também pela profundidade considerada (0-20 cm). Analisando-se também dados do 2º capítulo, nota-se que apesar de ter sido ingressado no sistema até 70 Mg ha⁻¹ de carbono, somente na restava da parte aérea, foram incorporados à matéria orgânica do solo no máximo 4500 kg ha⁻¹. Sem contabilizar-se o ingresso de carbono via sistema radicular das plantas, pode-se dizer que menos de 6% do material orgânico depositado no solo foi incorporado à matéria orgânica do solo, tendo sido devolvidos à atmosfera mais de 94% do total. Considerando-se os dados de pesquisa até então existentes (HUMBERT, 1974; KORNDÖRFER, 1989; CASAGRANDE, 1991; VASCONCELOS, 2000) sobre produção de biomassa do sistema radicular da cultura, pode-se dizer com segurança que menos de 4% do total de carbono depositado no solo passou a fazer parte das diferentes frações da matéria orgânica do solo. Assim, nas condições do estudo é possível admitir o potencial de seqüestro de carbono no solo não ultrapassou 4% do material orgânico depositado pela cultura.

Tabela 38. Balanço de carbono no sistema solo/planta até 20 cm de profundidade.

Tratamentos 0-20 cm	Balanço de C	C _{inicial} kg ha ⁻¹	C _{final}
Sem Vinhaça	90.615a	81.886b	172.502
Com Vinhaça	61.588b	127.350a	188.938
Com Queima	63 .204b	69.027b	132.23 lb
Sem Queima	86.683a	134.158a	220.842a
Sem Nitrogênio	72.144	103.001	175.145
Com Nitrogênio	75.406	107.157	182.563

*Valores não procedidos por letras, em cada fator, na coluna, não diferem entre si pelo teste F (P<0,05)

Na Tabela 39 encontram-se os valores de carbono na parte aérea da cana-de-açúcar utilizados para o cálculo do balanço de carbono no sistema solo/planta. Nota-se que o carbono possui dinâmica de acumulação na planta muito diferente do nitrogênio. Enquanto o primeiro apresenta mais de 60% do total acumulado nos colmos, o segundo apresenta maior quantidade associada à palhada e à bandeira. Como o colmo é exportado para a usina sendo utilizado como fonte energética após o esmagamento da cana e extração do caldo, o carbono efetivamente retido no sistema é comparativamente baixo, enquanto que o nitrogênio, desde que a palha não seja queimada, se mantém em grande parte no sistema, permitindo interessante alternativa de manejo.

Tabela 39. Carbono na parte aérea da cana-de-açúcar – Total de 14 colheitas.

Tratamentos	Bandeira	Palha Mg ha ⁻¹	Colmo	Total
Sem Vinhaça	11	34	100	145
Com Vinhaça	12	38	112	162
Com Queima	9	0	95	104
Sem Queima	13	65	115	193
Sem Nitrogênio	11	35	102	148
Com Nitrogênio	11	37	106	155

17.5. O Manejo de Corte da Cana, e o Impacto nas Receitas da Propriedade

Avaliou-se a influência de cada tratamento na produção de colmos após estas 15 colheitas. Utilizando a área total da Usina Cruangi (11.000 ha) e o preço médio pago pela cana na esteira em setembro de 2002 (R\$24,95), estimou-se a receita que a Usina deixa de obter quando não aplica cada um dos tratamentos, isoladamente. Estes valores foram obtidos multiplicando-se a diferença entre os valores de produção de colmos com e sem as aplicações dos tratamentos, pelo preço em setembro de 2002 e pela área total da Usina plantada com cana. Os resultados da receita referem-se aos valores acumulados no período.

Na Figura 1 nota-se a influência de cada um dos tratamentos na produção de colmos ($Mg\ ha^{-1}$) e na estimativa da receita da Usina (milhões de reais). A resposta a aplicação de nitrogênio se mostrou variável ao longo dos anos, o que influenciou diretamente no incremento da receita que esteve próximo a 22 milhões de reais, durante o período avaliado. A utilização da vinhaça na fertirrigação promoveu incrementos na produção de colmos de forma consistente e este resultado se refletiu em seu maior incremento de receita (35 milhões de reais), quando comparado à adubação nitrogenada. Entretanto, a manutenção da palhada no sistema apresentou os resultados mais favoráveis em relação ao incremento da receita da propriedade (45 milhões de reais). Neste tratamento, a resposta na produção de colmos foi negativa nos primeiros anos de avaliação, mas, a partir da 2ª soca, seu efeito foi progressivo e ainda mais evidenciado na segunda fase do experimento. Este resultado sugere a necessidade de expansão de estudos de longo prazo em outras regiões produtoras do País, visando obter informações mais seguras quanto a viabilidade de utilização destas práticas.

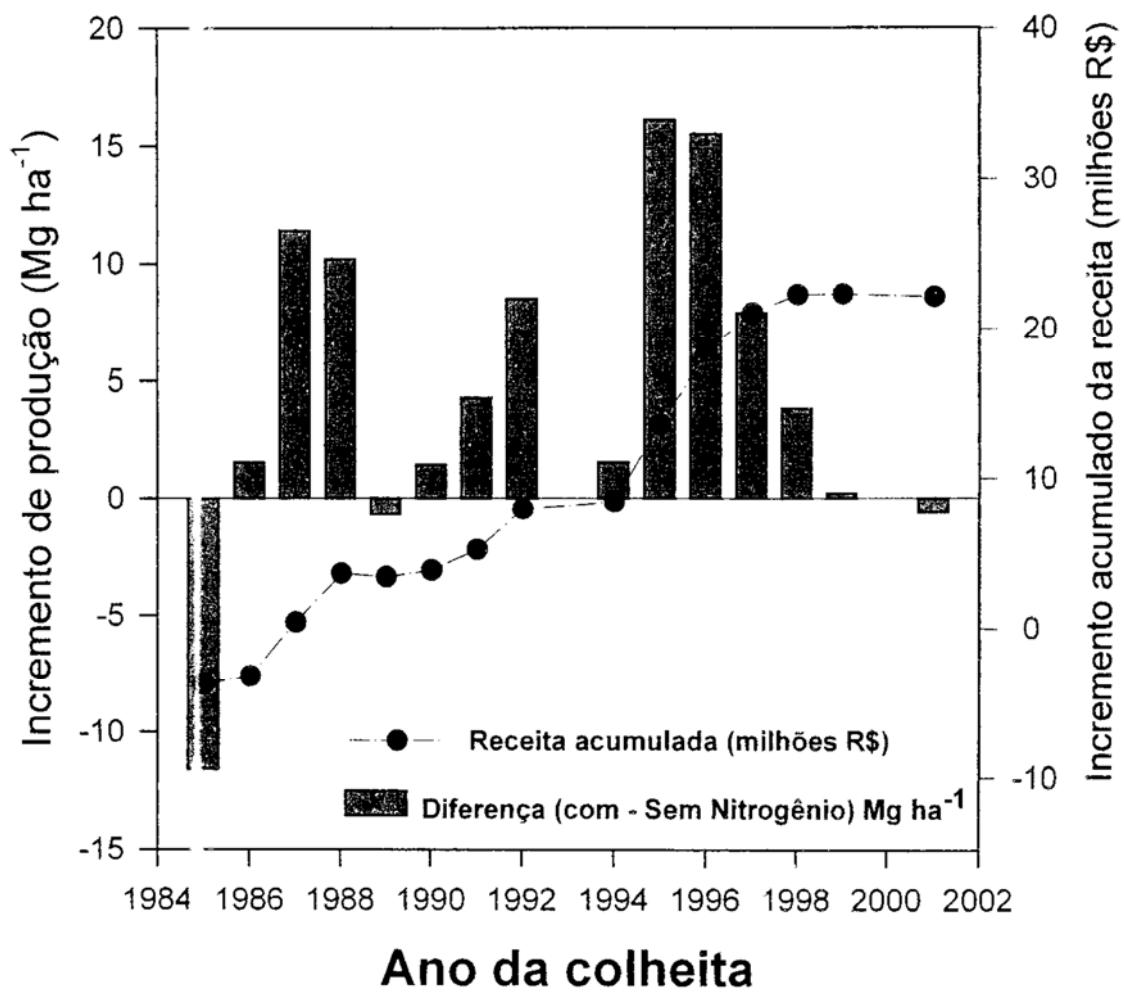


Figura 2. Efeito das aplicações de nitrogênio produção de colmos e na receita gerada pela cultura na Usina Cruangi, Timbaúba, PE.

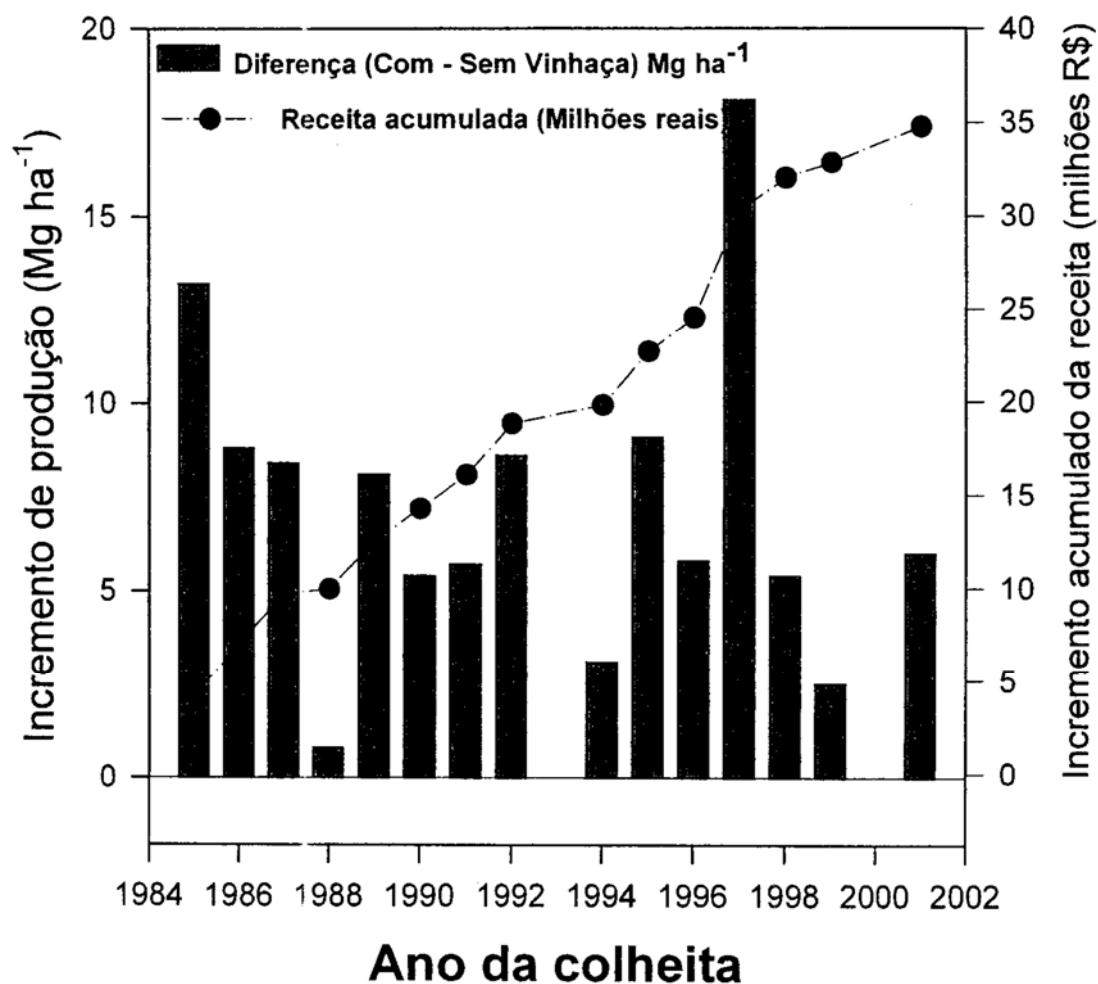


Figura 3. Efeito das aplicações de vinhaça na produção de colmos e na receita gerada pela cultura.

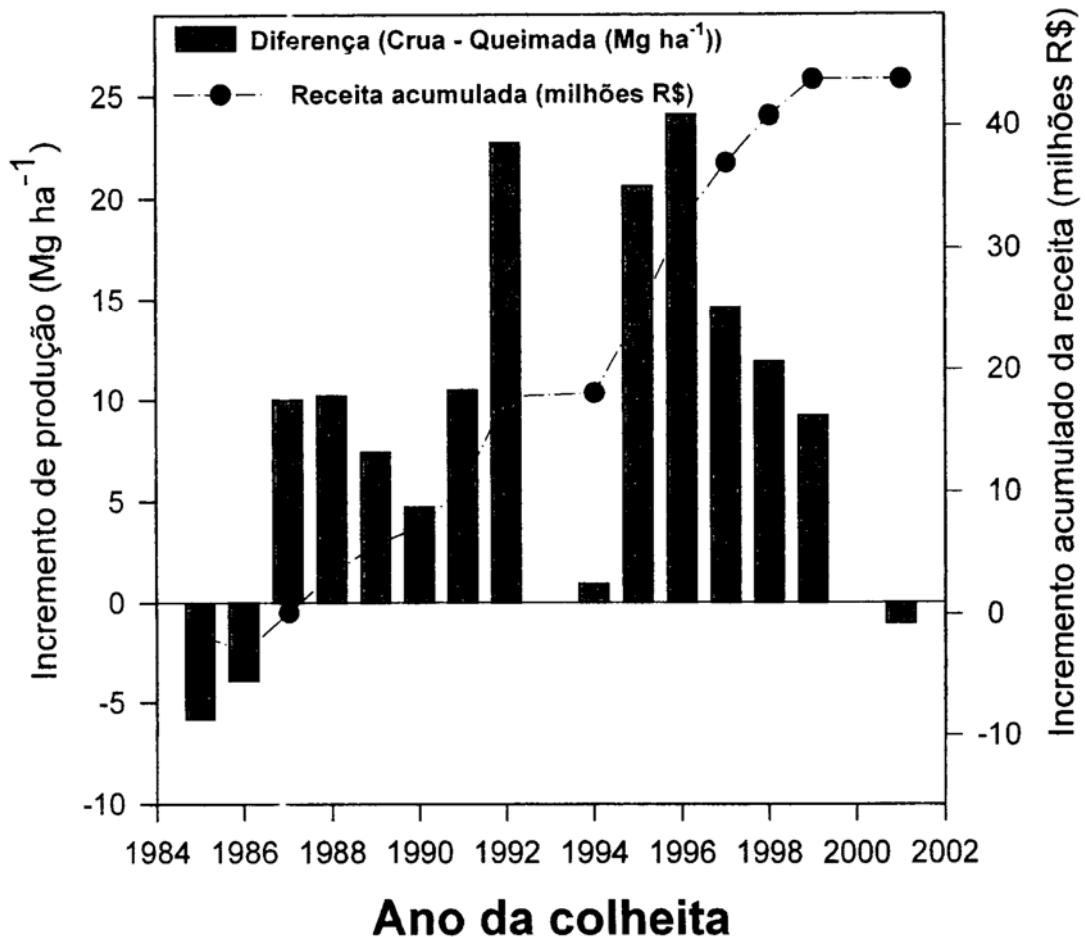


Figura 4. Efeito da queima por 18 anos na produção de colmos e na receita gerada pela cultura.

Deve-se ressaltar que neste estudo somente foi avaliado o potencial de incremento da receita obtida pela Usina, com as práticas supracitadas. Estes resultados não expressam, no entanto a rentabilidade que cada tratamento proporcionou. Assim, a avaliação destes resultados deve ser cuidadosa. No entanto ao admitirmos os custos com aquisição e mão de obra para aplicação de nitrogênio e os custos com a aplicação da vinhaça e a rentabilidade que estas práticas proporcionaram, pode-se inferir que a manutenção da palhada no sistema apresentou grande vantagem em relação aos tratamentos onde houve a queima do palhado antes do corte para facilitar a colheita e, possivelmente sobre os demais, tornando-se a prática mais rentável do estudo.

18. CONCLUSÕES

Os resultados de balanço de N-total do sistema solo/planta foram negativos para a maioria dos tratamentos;

A fixação biológica de nitrogênio é uma importante fonte deste nutriente para a cultura de cana;

A manutenção da palhada no sistema possibilita uma forte redução nas perdas de nitrogênio e carbono do sistema;

O manejo que vem sendo aplicado na cultura de cana-de-açúcar vem favorecendo a obtenção de receita pela Usina, e a manutenção da palhada apresentou os resultados mais favoráveis ao longo do tempo;

Os resultados dos primeiros anos de implantação do manejo de cana crua sugerem que o agricultor deve fazer a transição gradual do sistema de colheita queimada para a crua, visando reduzir o impacto inicial da redução da receita obtida na transição do manejo.

18.1 .CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que foi realizado este estudo é possível concluir que o sistema de cultivo com manejo de corte da cana colhida crua é mais rentável que o corte de cana colhida com queima, no entanto esta maior rentabilidade não é obtida num primeiro momento e sim ao longo do tempo. Neste sentido o produtor deve fazer a mudança no manejo da colheita de cana de forma gradativa, visando reduzir o impacto dos custos iniciais desta mudança.

O balanço de carbono no sistema solo/planta foi positivo, no entanto menos de 6% deste carbono fica retido no solo à longo prazo, sendo a maior parte perdido nos processos que envolvem a transformação do material vegetal em matéria orgânica do solo propriamente dita. Isto indica que em estudos sobre o potencial de seqüestro de carbono em ecossistemas terrestres, somente este percentual deve ser considerado uma vez que a maior parte retorna a atmosfera à curto prazo.

A fixação biológica de nitrogênio é uma importante fonte de N para a cultura, no entanto é necessário a ampliação dos estudos com o objetivo de otimizá-la na cultura de cana, buscando o entendimento da inconsistência de resposta à adubação nitrogenada, que provavelmente está ligada a inconsistência na contribuição da FBN para as plantas. Para tanto, deve-se ter em mente que a quantificação da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para os vegetais é de fundamental importância para potencializar e viabilizar novas formas de manejo. Esta quantificação permitirá então a tomada de decisões e o melhor planejamento agrícola, visando reduzir custos.

Na soja, a contribuição desta fonte às plantas já é uma realidade e hoje, não se recomenda adubação nitrogenada nesta cultura. Na cana-de-açúcar, o mesmo já vem sendo feito para cana planta. A pesquisa vem evoluindo muito nestes aspectos, mas ainda é sabido que há uma longa trajetória até se encontrar um sistema produtivo que realmente possa ser considerado sustentável. Para tanto a contribuição da FBN via bactérias diazotróficas, com certeza, estará inserida.

Pelos resultados encontrados para rendimento de colmos, o que vem sendo observado é que, a longo prazo, a prática da queima, influencia de forma negativa estes rendimentos e, este efeito negativo aumenta com o passar dos anos. Assim, a permanência do produtor no sistema de colheita de cana crua por mais tempo e resistindo ao imediatismo de resposta, normal em todo o processo produtivo, pode trazer boa rentabilidade. Na Usina Cruangi, embora o relevo seja ondulado, impossibilitando a colheita mecânica, mais de 60% da cultura é colhida crua e isto, vem sendo fundamental para a sobrevivência da empresa numa região de precipitação pluviométrica tão irregular e num relevo tão acidentado, principalmente nos anos em que o setor atravessa crises.

Assim, avaliando a revisão bibliográfica feita por Valsechi, na década de 50, nota-se que a maioria dos argumentos dos profissionais que condenam a prática da colheita de cana crua hoje, é a mesma daquela época, e sua sustentação científica não encontra mais apoio nos dias de hoje, onde a tecnologia já não é mais um sonho de poucos, é uma realidade palpável e executável, desde que os preconceitos que tomam o setor possam ser deixados de lado.

19. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTINE P.E.G. (1983). Efeito da adição de resíduos das culturas de *Sorghum bicolor* (L.) *Moench* e *Dolichos lablab* (L.) sobre o carbono e nitrogênio de frações da matéria orgânica de um Latossolo Roxo. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo. 86p. (Tese de mestrado).
- ALVAREZ I.A. & CASTRO P.R.C. (1999). Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientiae Agricola**, v.56, n.4, p. 1069-1079.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.449-409. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).
- ALVES B.J.R. Aplicação da técnica de análise de solutos nitrogenados da seiva para a quantificação da fixação biológica de nitrogênio em *Desmodium ovalifolium* CV. Itabela. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 150p. Tese de Doutorado, 1996.
- AUDE M.I.S., MARCHEZAN E., DARIVA T. & PIGNATARO I.H.B. (1993). Manejo do palhiço da cana-de-açúcar; 1. Efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, n.3, p.281-286.
- AZEREDO D.F., BOLSANELLO J., WEBER, H. E VIEIRA J.R. (1986). Nitrogênio em cana-planta, doses e fracionamento. **STAB** 4: 26-32.
- AZEREDO D.M. (1997) Adubação Nitrogenada em Cana-de-Açúcar (*Saccharum* spp) em Dois Solos do Estado do Rio de Janeiro: Cana-Planta. Tese de doutorado Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
- BAYER C, MIELNICZUK J & MARTIN-NETO L. (2000) Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **R Bras. Ci. Solo**, 24:599-607.
- BALDWIN B. D.(1920). Recent progress in cutting, loading and transporting cane in Hawaii. International Sugar Journal – Vol. XXII – Julho – no. 259 – pp 400-402.
- BALL-COELHO B., TIESSEN H., STEWART J.W.B., SALCEDO I.H.& SAMPAIO E.V.S.B. (1993) Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p. 1004-1008.
- BAYMA A.C. (1924). Cultura da cana: Aos agricultores de mecejena, Ceará – Brasil agrícola – Ano X, Abril, no 112, pp 110-113. Brasil.
- BLAIR N. (2000). Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research** 55: 183-191.

BODDEY R.M. (1995). Biological nitrogen fixation in sugar cane: A key to energetically viable biofuel production. **Critical Reviews in Plant Science**, 14 (3) 263-279.

BODDEY R.M.; DE OLIVEIRA, O.C. URQUIAGA, S.; REIS, V. OLIVARES, F.L.; BALDANI, DÖBEREINER, J. (1995). Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 90, p. 195 - 209.

BODDEY R.M. (1987). Methods for quantification of nitrogen fixation associated with gramineae. CRC **Crit. Rev. Plant Sci.** 6:209-266.

BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; REIS, V. & DÖBEREINER, J. (1991). Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. **Plant & Soil**. 137:111-117.

BODDEY, R.M. & VICTORIA, R.L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with Brachiaria and Paspalum grasses using ^{15}N -labelled organic matter and fertilizer. **Plant and Soil**, Dordrecht, 90: 265-292. 1986.

BODDEY R.M., POLIDORO J.C., RESENDE A.S., ALVES B.J.R. AND URQUIAGA S. (2001) Use of the ^{15}N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation to grasses and cereals. **Australian Journal of Plant Physiology**. 28:1-7.

BRADY N.C. & WEIL R.R. (1999). The nature and properties of soils. Twelfth Edition. Printice Hall, Inc. Simon and Schuster A Viacom Company. Upper saddle River, New jersey 07458. 881p.

BREMNERBOLINDER M.A., ANGERS D.A., GIROUX M. & LAVERDLERE M. R. (1999) Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays L.*). **Plant an Soil** 215:85-91.

BONAME PH. (1888). Culture de la Canne a sucre a la Guadelupe. 20a. edição p.146 Paris-França.

BOVI R. & SERRA G.E. (1999). Impurezas fibrosas da cana-de-açúcar e parâmetros tecnológicos do caldo extraído. **Sci. agric.** Vol. 56, n.4.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. (1982). Nitrogen total. In: PAGE, A.L., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America. Part 2. P. 595624.

CAIRO N. O livro da cana-de-açúcar – 2a. edição p.57. Brasil, 1924.

CAMINHA FILHO A. (1942). Da cultura econômica da cana-de-açúcar Brasil Açucareiro, Ano XI, Vol. XXII, julho, no. 1, pp.46-50, Rio de Janeiro, Brasil.

CAMPOS, D.V.B., de; RESENDE, A.S.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. 1995. Identification of wetland rice genotypes with potential for biological nitrogen fixation. Resumo expandido do International Symposium on Sustainable Agriculture for the Tropics: The role of biological nitrogen fixation. EMBRAPA-CNRAB, UFRRJ, Academia Brasileira de Ciências. Angra dos Reis, RJ. Novembro/Dezembro 1995. pp.242-243.

CANABRAVA A. P. (1946). A indústria do açúcar nas ilhas inglesas e francesas do Mar das Antilhas (1697-1758) – Tese de concurso à cadeira de história da civilização americana da Faculdade de Filosofia, ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Pp. 31-31. Brasil.

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

CASTRO F.S. (1970). Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. Fed. Nac. Cafet., Colômbia, Bol. Tec. 2, 18p.

CAVALCANTE V.A. E DÖBEREINER J. (1988). A new acid-tolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugar cane. *Plant Soil* 108: 23-31.

CEDDIA M.B. (1996) Implicações técnicas e edáficas do sistema de corte da cana-de-açúcar em solo de tabuleiro no Espírito Santo. Dissertação de mestrado em Ciência do solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 120p.

CERRI C.C., CHAPLOT V. & CERRI C.E.P. (2002). Ciclagem de nutrientes e sustentabilidade agrícola. Disponível no site <http://www.ceagri.usp.br>

CERRI C.C., MORAES J.F.L. (1992) Consequências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: Encontro sobre matéria orgânica do solo. Botucatu. Anais... Unesp. P.26-36.

CERRI C.C., VOLKOFF B.; EDUARDO B.P. (1985) Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia, consequências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: Encontro sobre matéria orgânica do solo. Botucatu. Anais... Unesp. P.26-36.

CERRI C.C. (1986). Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba: Tese de livre Docência. Esalq-Usp. 197p.

DIAS-FILHO M.B. (2000) Growth and biomass allocation of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Pesq. Agropec. Bras. Brasilia*, v.35, n.12, p.2335-2341.

DÖBEREINER J. (1992). History and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. *Symbiosis*, Rehovot, v. 13, p. 1-13.

DÖBEREINER J. (1959). Influência da cana-de-açúcar na população de Beijerinckia do solo. *R. Brasil. Biol.* 19: 251-258.

DÖBEREINER J. (1961). Nitrogen-fixing bacteria of the genus Beijerinckia Derx in the rhizosphere of sugar cane. *Plant Soil* 15: 211-216, 1961.

DÖBEREINER, J. & PEDROSA, F.O. 1987. Nitrogen fixing bacteria in non leguminous crop plants. Madison, Science. Tech. Publishers, 155p. (Brock) Springer Series in Contemporary Bioscience).

DOMINGUEZ F.A.L.(1923). Depreciation of cane caused burn fire and by delays in shipping – International sugar journal – vol. XXV – Outubro - no. 298 - pp 539-540.

EMBRAPA. (1979) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, SNLCS.

FARQUHAR G.D. & RICHARDS R.A. (1984). Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. **Aust. J. plant. Physiol.** 11:539-552

FARQUHAR G.D. EHLERINGER J.R. & HUBICK K.T. (1989). Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annual Review of plant physiology and molecular biology. 40:505-537.

FERREIRA, E. A excreção de bovinos e as perdas de nitrogênio nas pastagens tropicais. 1995. 143f. Tese (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

FOLSTER H. KHANNA P.K. (1997). Dynamics of nutrient supply in plantation soils. In: Sadanadan Nambiar, E.K. and Brown A.G. management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Aciar Monograph No. 43, 571p.

FONTANELI R.S., AMBROSI I., SANTOS H.P. DOS, IGNACZAK J.C. & ZOLDAN S.M. (2000). Análise econômica de sistemas de produção de grãos anuais de inverno, em sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.35, n.11, p.2129-2137.

FREITAS, J.R.; VICTORIA, R.L.; RUSCHEL, A.P. & VOSE, P.B. 1984. Estimation of N₂-fixation by sugar cane, *Saccharum* sp. and soybean, *Glycine max*, grown in soil with ¹⁵N labelled organic matter. **Plant Soil**, 82:257-261.

FU S., & CHENG W. (2002) Rhizosphere priming effects on the decomposition of soil organic matter in C4 and C3 grassland soils. **Plant and Soil** 238: 289-294.

GAVA G.J.C., TRIVELIN P.C.O., OLIVEIRA M.W. & PENATTI C.P. (2001). Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.36, n.11, p.1347-1354.

GILLER K.E. & WILSON K.J. (1991). Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Wallingford: **CAB International**, 313p.

GILLIS M., KERTERS K., HOSTE B., JANSSENS D., KROPPENSTEDT R.M., STEPHAN M.P., TEIXEIRA K.R.S., DÖBEREINER J. AND DELEY J. (1989). *Acetobacter diazotrophicus* sp. nov. a nitrogen fixing acetic acid bacterium associated with sugar cane. **Int. J. Syst. Bacteriol.** 39:361-364.

GLÓRIA, N. & ORLANDO FILHO, J. (1984). Aplicação de Vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Rev. Álcool e Açúcar**, ano v.16 pp 32-39.

GONÇALVES C.N., CERETTA C.A. & BASSO C.J. (2000) Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **R. Bras Ci. Solo**, 24:153-159.

GRAHAM M.H., HAYNES R.J. & MEYER J.H. (2002). Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology & Biochemistry** 34:93-102.

GRIER C.C. (1975). Wild fire effects on nutrient distribution and leaching in a coniferous ecosystem. **Can. J. Forest. Res.** 5:559-607.

HAGEDORN F., BLASER P. & SIEGWOLF R. (2002). Elevated atmospheric CO₂ and increased N deposition effects on dissolved organic carbon – clues from δ¹³ C signature. **Soil Biology & Biochemistry** 34:355-366.

HUMBERT R.P. (1974) El cultivo de la caña de azúcar. México, Continental. 719p.

IAA – (1945). Resolução no. 109 de 27 de junho de 1945 da comissão executiva do Instituto do Açúcar e do Álcool. Brasil açucareiro, ano XIII, vol. XXVI, Julho pp. 33-52, Rio de Janeiro, Brasil.

IBGE - LSPA (2002) -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível no site <http://www.ibge.gov.br>

IPCC. (1996) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: reference Manual. OECD, Paris.

JAMES, E.K.; REIS, V.M.; OLIVARES, F.L.; BALDANI, J.I. & DÖBEREINER, J. 1994. Infection of sugar cane by the nitrogen-fixing bacterium *Acetobacter diazotrophicus*. Journal Exp. Botany, 45(275): 757-766.

JENKINS B.M., TURN S.Q., WILLIAMS RB., GORONEA M., ABDEL-FATTAH H., MEHLSCHAU N., RAUBACH N., WHALEN SA, CHANG D.P.Y., KANG M., TEAGUE S.V., RAABE O.G., CAMPBELL D.E., CAHILL T.A., PRITCHETT L., CHOW J. & JONES A.D. (1995). Atmospheric pollutant emission factors from open burning of sugar cane by wind tunnel simulations. Final report. Davis: University of California, 1995 (Prepared for the Hawaiian sugar planter's association, Aiea, Hawaii).

JENKINSON D.S., LADD J.N. (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL E.A. & LADD J.N. (eds.). **Soil Biochemistry**. New York: p.415-471.

JUNK G. & SVEC H.J. The absolute abundance of the nitrogen isotopes in the atmosphere and compressed gas from various sources. **Geochim. Cosmochim. Acta.** 14: 234-243, 1958.

KORNDORFER G.H. Crescimento e distribuição do sistema radicular de cana-de-açúcar em solo LVA. Copersucar, 1989. P. 47-89 (Boletim técnico).

KESSEL D.G.(2000). Global warming – facts, assessment, countermeasures. **Journal of Petroleum Science and Engineering**. Volume 26, Issues 1-4, pp. 157-168.

KHAMMAS, K.M.; AGAON, E.; GRIMONT, P.A. & KAISER, P. 1989. *Azospirillum irakense* sp. nov. a nitrogen fixing bacterium associated with rice roots and rhizosphere soil. **Res. Microbiol.**, 140:679-693.

LAL R. (2002). Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution 116 – 353-362. Elsevier Science Ltda.

LARA CABEZAS W.A.R., TRIVELIN P.C.O., KONDORFER & PEREIRA S. (2000) Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **R. Bras. Ci. Solo**, 24:363-376.

LIMA E., BODDEY R.M. E DÖBEREINER J.(1987). Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ¹⁵N aided nitrogen balance. **Soil Biol. Biochem.** 19: 165-170.

LONGO R.M. & ESPÍNDOLA C.R. (2000) C-orgânico, N-total e substancias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta amazônica. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:723-729.

LOURENÇO A.J., SARTINI H.J. E SANTAMARIA M. (1976). O uso do fogo orientado em pastagens de capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) consorciado com uma mistura de leguminosas. **Anais XIII Reun. Soc. Bras. Zootec.** pp. 366-367.

MACEDO I.C. (1998) Greenhouse gas emissions and energy balances in Bio-Ethanol reduction and utilization in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, vol. 14., no 1, pp. 77-81.

MACHADO, E.C. (1987). Fisiologia de produção de cana-de-açúcar, cultivo e utilização. S.B. Paranhos, Fundação Cargill, Campinas, p. 56-80, 1987.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F.P.; COURY, T. *et al.* 1963. A diagnose foliar na cana-de-açúcar. IV. Resultados de 40 ensaios fatoriais NPK 3x3x3, primeiro corte, Piracicaba, ESALQ/USP, 47p.

MARCHIORI JUNIOR M. & MELO W.J. (2000). Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.35, n.6.

MATTIAZZO M.E. & GLÓRIA N.A. (1985). Efeito da vinhaça na acidez do solo. STAB, Açúcar, Álcool e subprodutos, 4 (2):35-40.

MAXWELL F. Economic aspects of cane sugar production. Londres, Inglaterra. 1927.

McNEILL A. (2001) Stable isotope techniques using enriched ¹⁵N and ¹³C for studies of soil organic matter accumulation and decomposition in agricultural systems. In: Stable Isotope techniques in the study of Biological processes and functioning of ecosystems. Unkovich M. *et al*, eds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 195-218p.

MELO D.A. A cultura da cana – Ceres, Vol. II, no. 8. pp.176-183, Brasil, 1940.

MENDOZA H.N.S. (1996) Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Tese de Mestrado.

MENDOZA H.N.S., LIMA E., ANJOS L.H.C., SILVA L.A., CEDDIA M.B. & ANTUNES M.V.M. (2000) Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: 201207.

MUCHOW R.C., HIGGINS A.J., RUDD A.V. & FORD A.W. (1998). Optimising harvest date in sugar production: a case study for the Mossman mill region in Australia II. Sensivity to crop age and crop class distribution. **Field Crops research** 57: 243-251.

OLIVEIRA J.C.M., REICHARDT K., BACHI O.O.S., TIMM L.C., DOURADO-NETO D., TRIVELIN P.O.C., TOMINAGA T.T., NAVARRO R.C., PICCOLO M.C. & CASSARO F.A.M. (2000). Nitrogen dynamics in a soil sugar cane system. **Scientiae Agricola** v.57, n3, p. 467-472.

OLIVEIRA M.W., TRIVELIN P.C.O., GAVA G.J.C. & PENATTI C.P. (1999). Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, p. 803-809.

OLIVEIRA O.C. (1994). Quantificação da fixação biológica de nitrogênio em arroz (*Oryza sativa*, L.) inundado. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Tese de mestrado**.

OLIVEIRA O.C., BODDEY R.M. & URQUIAGA S. (1994) Burning cane: the long-term effects. **Int. Sugar JNL**, vol. 96, 272-275, No.1147E

ORLANDO-FILHO J., HAAG H.P. E ZAMBELLO E. JR. (1980) Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76 em função de idade em solos do Estado de São Paulo. **Bol. Técnico N°2**, 128p., Planalsucar, Piracicaba, SP.

ORLANDO FILHO J. & RODELLA A.A. (1995). Adubação nitrogenada em cana planta: perfilhamento e produtividade agrícola. **Revista STAB** vol. 13. No. 3, 16-18 pp.

PAO T.P.(1975). Efectos residuales de tres años consecutivos de fertilización y cobertura con desechos sobre la fertlidad del suelo y el rendimiento del cultivo del cuarto retocio. **Revista de la Potasa, Berna**, n.2, p.1-5.

PATE J.S. (2001). Carbon isotope discrimination and plant water-use efficiency. In: **Stable Isotope techniques in the study of Biological processes and functioning of ecosystems**. Unkovich M. et al., eds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 19-36p.

PEOPLES M.B., FAIZAH A.W., RERKASEM B. & HERRIDGE D.F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. **ACIAR**, Monograph N°. 11, Canberra, 1989. 76p.

PESTANA A.C. (1925). O destino do palhiço – Brasil agrícola ano XI, Janeiro, no. 121 pp. 346-347, Brasil.

POLIDORO J.C., QUESADA D.M., RESENDE A.S., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. & URQUIAGA S. (2000) Estimativa da contribuição da fixação biológica de N₂ na cultura da cana-de-açúcar, através do uso da técnica de abundância natural de ¹⁵N ($\delta^{15}\text{N}$), em lavouras comerciais no Brasil. FertBio 2000, Biodinâmica do Solo. 22 a 26 de outubro, Santa Maria, RS.

PRIMAVESI A. (1987). O manejo ecológico do solo. 2ed. São Paulo, Nobel. 541p.

REINHOLD, B.; HUREK, T.; FENDRIK, I.; POT, B.; GILLIS, M.; KERSTERS, K.; THIELEMANS, S. & De LEY, J. 1987. *Azospirillum halopraeferans* sp. nov., a nitrogen-fixing organism associated with roots of Kallar grass (*Leptochloa fusca* (L) Kunth.) Int. J. Syst. Bacteriol., 37:43-51.

REIS JÚNIOR, F.B. **Influência do genótipo da planta, micropropagação e fertilização nitrogenada sobre a população de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1998. Tese de mestrado.

RESENDE A.S. (2000). **A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: Uso de adubos verdes.** Universidade federal Rural do Rio de Janeiro, Tese de mestrado.

RESENDE A.S., QUESADA D.M., OLIVEIRA O.C., GONDIM A., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. & URQUIAGA S. (1998). Efeito do sistema de colheita na produtividade de cana-de-açúcar após 14 anos de cultivo. **Resumos da XXIII reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, FertBio, 11 a 16 de outubro de 1998, Caxambu, MG.** P.516.

RIBEIRO S.K. & ROSA L.P. (1998). Activities implemented jointly and the use of fuel alcohol in Brazil for abating CO₂ emissions. **Energy Policy** 26: 103-111.

RODELLA A.A., ZAMBELLO JR. & ORLANDO FILHO J. (1983). Calibração das análises de fósforo e potássio no solo em cana-de-açúcar. *Saccharum*, São Paulo, v. 28, p.39-42.

ROSENFELD A.H. (1926). The cultivation of Sugar cane in Peril. International Sugar Journal. Vol. XXVIII, Novembro, no. 335. Pp. 590-597, Londres, Inglaterra.

ROSENFELD A.H. (1941). Pre-harvest burning of sugar cane. International Sugar Journal, Vol. XLIII, abril, no. 508, pp. 111-112, Londres, Inglaterra.

RUSCHEL A.P., HENIS Y. E SALATI E. (1975) Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil-grown sugar cane seedlings. **Soil Biol. Biochem.** 7: 181-182.

SANTOS G.A. & CAMARGO F.A.O. (eds) (1999) Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Genesis, Porto Alegre.

SHEARER, G. & KOHL, D.H. N2 fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Aust. J. Plant Physiol.**, 13, 699-756, 1986.

SILVA L.A. (2000). Efeitos da renovação do canavial com diferentes sistemas de colheita, sobre as propriedades químicas do solo, crescimento da cultura e acúmulo de nitrogênio em cana de primeira soca. Dissertação de mestrado. UFRRJ.

SILVA V.R., REINERT D.J. & REICHERT J.M. (2000) Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:191-199.

SISTI C.P.J. (2001) influência de sistemas de preparo do solo e manejo de culturas sobre o estoque de carbono e nitrogênio do solo em diferentes condições agrícolas. Dissertação de mestrado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SMITH D.W. (1970) Concentrations of soil nutrients before and after fire. **Can. J. Soil Sci.** 50:17-29.

SMITH J.L. & MYUNG H. (1990). Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for ¹⁵N analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Vol 21, No 17 & 18: 2173-2180.

SOUZA W.J.O. & MELO W.J. (2000) Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:885896.

SPENCER G. L., MEADE G.P. & BOURBAKIS C. J. (1943). Manual de fabricantes de azucar de cana y quimicos azucareros 7a. Ed. pp 13 e 410-411 New York, USA.

STEVENSON F.J. (1982). Humus chemistry. New York, John Wiley & Sons. 443p.

STUPIELLO J.P. (2001) conversando com a cana: a presença de silício na fábrica. Revista STAB vol. 19. No. 3, pág. 12.

ÚNICA (2002) União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível no site <http://www.unica.com.br>.

URQUIAGA S., BODDEY R.M., OLIVEIRA O.C., LIMA E. E GUIMARÃES, D.H.V. (1991) A importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar. Seropédica : EMBRAPA-CNPBS, 12p. (**EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 5**).

URQUIAGA S., CRUZ K.H.S. E BODDEY R.M. (1992). Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 56:105-114.

URQUIAGA S., RESENDE A. S., ALVES B.J.R., BODDEY R.M. & DÖBEREINER (1997). Fixação biológica de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar: Perspectivas. **Workshop sobre avaliação e manejo dos recursos naturais em áreas de exploração da cana-de-açúcar**. Aracajú, SE, EMBRAPA-CPATC, 11 a 13 de novembro, 126p.

URQUIAGA S., RESENDE A. S., QUESADA D.M., SALLES L., GONDIM A., ALVES B.J.R., BODDEY RM. (1997). Efeito das aplicações de vinhaça, adubo nitrogenado e da queima no rendimento de cana-de-açúcar. **XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Rio de Janeiro, 21 a 25 Julho. CD-ROM.

URQUIAGA S., RESENDE A.S., ALVES B.J.R. & BODDEY R.M. (1999) Biological Nitrogen fixation as support for the sustainable production of sugar cane in Brazil: Perspectives. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** vol. 71, no. 3, parte II. pp 505-513.

URQUIAGA, S.; SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. (2002). Influence of crop rotation and soil tillage system in the organic C balance in a Oxisol (Typic Haplorthox). In: **17th World Congress of Soil Science**, Bangkok, Thailand, 14 a 21/8/2002.

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T.; KIM, T.H.; DACANAY, E.V. & NAKANISHI, Y. The natural ¹⁵N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). **Plant and Soil.** 189:239-244.tt, 1997.

VALLIS I., PARTON W.J., KEATING B.A. & WOOD A.W. (1996). Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil & Tillage Research** 38: 115-132.

VALSECHI O. (1951) A QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR E SUAS CONSEQUÊNCIAS. Tese de livre docência Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ.

VASCONCELOS A.C.M. As raízes de cana-de-açúcar. STAB – Março abril – 2000 - Vol. **18** no. 4. P.26.

VELDICAMP E. (1994). Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal.** 58:175-180.

VIRO P.J. (1974) Effects of fire on soil. In. Fire and Ecosystems. (T.T. Kozlowski & C.E. Ahlgren, eds.). Acad. Press, New York.

VITOUSEK P.M. & SANFORD R.L. (1986). Nutrient cycling in moist Tropical forests. Am. Ver. Ecol. Syst. 17:137-67.

WALCOTT G.N. (1923). The control of Moth Borer in cane fields. **International Sugar Journal** – Vol. XXV Janeiro – no. 289 pp. 14-16. Londres, Inglaterra.

WANI S.P., DART P.J. E UPADHYAYA M.N. (1983) Factors affecting nitrogenase activity (C₂H₂ reduction) associated with sorghum and millet estimated using the soil core assay. **Can. J. Microbiol.** 29:**1063-1069**.

WEBSTER E.A., CHUDEK J.A. & HOPKINS D.W. (2000). Carbon transformations during decomposition of different components of plant leaves in soil. **Soil Biology & Biochemistry** 32: 301-314.

WEITHRICH E. (1922).The sugar industry in Natal and Zululand – **International Sugar Journal** – vol. XXIV – Maio – no. 281 – p. 243-247. Londres, Inglaterra.

ZAMBELLO J.R. E ORLANDO FILHO J. (1981). Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Bol. Téc.** 3 (3):1-26, Planalsucar, Piracicaba, SP.

20. ANEXOS

ANEXO I

Precipitação Pluviométrica Mensal do Período Experimental (mm)

Ano	Precipitação pluviométrica mensal do período experimental (mm)												
	Jan	Fey	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1983	25,4	109	182,2	74,5	163,5	83,8	11,7	108,6	39,6	48,8	0	23	870,1
1984	157,8	6,2	78,3	243,8	280,4	90,7	234,8	122	41,7	39,6	32,2	0	1327,5
1985	85,1	99,9	284,8	155,8	122,6	222,2	200,4	78,8	40,8	0	14,8	65,6	1370,8
1986	119,9	111,8	358	342,2	207,2	268,7	179,7	192,2	39,2	51,4	90,8	26,8	1987,9
1987	25	81,2	142,5	150,7	31,2	211,7	197	53,1	20,4	20	16,8	0	949,6
1988	76,4	134,4	324,1	219,8	160,2	117,7	314,3	79,2	31,2	12,8	29,3	24,1	1523,5
1989	23,9	5,4	56,1	352,4	184,6	209,2	242,4	135,6	2,6	27,9	45,4	66,4	1351,9
1990	25,4	11,6	30,8	168	208,5	150	343,9	207,2	55,3	71,7	11,0	8	1291,4
1991	63,9	80,8	91,2	175,9	256	158,1	200,6	101	17,6	64,8	44	0	1253,9
1992	50,6	168,1	301	52,2	86,8	183,8	138,3	59,4	81	15,3	24	1,2	1161,7
1993	2,6	1,2	61,4	68,8	82,4	126,2	173,6	15,4	14	20,8	13	22,8	602,2
1994	72,4	155,4	81,6	138,8	321,2	347,4	248,8	66	80	4,4	11,8	51,2	1579,0
1995	10,6	38	66,2	144,2	78,2	166,2	246,2	23,2	0	8,6	25,4	0,4	807,2
1996	16,8	100,4	65,8	306,2	78,6	166	173,3	179,5	144,7	17,2	105,7	14,6	1368,8
1997	13,4	139,4	121	202,2	342,6	74,6	129,5	67,2	0	3,6	0	69	1162,5
1998	27,4	4,8	30,8	30,7	92,8	25,4	124,8	143,8	15,8	12,2	5	5,2	518,7
1999	39,6	90,5	60,2	69,4	145,9	47,2	72	64,6	23,6	45,2	5	33,2	696,4
2000	179	66,4	26	125,2	106,9	344,3	256,9	184,3	193,4	18,8	8,4	96,4	1606,0
Média	56,4	78,0	131,2	167,8	163,9	166,3	193,8	104,5	46,7	26,8	26,8	28,2	1190,5

ANEXO II

Exemplo da Sistemática de Cálculo de Ajuste da Correção da Massa de Solo, Visando Tornar Comparável a Massa de Dois Sistemas de Cultivo Distintos.

A lógica do sistema de ajuste é que sabendo-se a massa de solo existente no tratamento referência, a uma dada espessura da camada de solo (no exemplo 10 e 20 cm, respectivamente para cada camada), estima-se qual a espessura da camada do solo dos tratamentos a serem testados, que possibilitaria uma massa de solo equivalente ao tratamento referência. Este cálculo é obtido pela seguinte equação:

$$P = MSR/DAPST/100$$

Onde:

P - Profundidade da camada de solo equivalente à camada do solo referência

MSR - Massa do solo referência numa dada profundidade

DAPST - Densidade aparente do solo que se quer comparar

Então, nesta primeira camada (0-10 cm) tem-se que a espessura da camada de solo equivalente aos 10 cm da camada referência é de 9,19; 8,99; 8,80 e 8,68 cm para os tratamentos A, B, C e D, respectivamente.

Exemplo 1 – Cálculo da correção da massa de solo. 0-10 cm.

Tratamentos	Densidade aparente do solo g cm ⁻³	Massa de solo por Camada (Mg ha ⁻¹)	Profundidade Equivalente (cm)
Referência	1,25	1250	10,00
A	1,36	1360	9,19
B	1,39	1390	8,99
C	1,42	1420	8,80
D	1,44	1440	8,68

Considerando ainda este exemplo com a camada seguinte de 20 cm de espessura (10-30 cm) temos então que a massa de solo equivalente aos 20 cm do tratamento referência seria 18,27; 18,01; 17,64 e 17,40 cm respectivamente para os tratamentos A, B, C e D.

Exemplo 1- continuação – Cálculo da correção da massa de solo. 10-30 cm.

Tratamentos	Densidade aparente do solo g cm ⁻³	Massa de solo por Camada (Mg ha ⁻¹)	Profundidade Equivalente (cm)
Referência	1.27	2540	20.00
A	1,39	2780	18,27
B	1,41	2820	18,01
C	1,44	2880	17,64
D	1,46	2920	17.40

No entanto, o ajuste deve ser considerado de forma seqüencial ao longo das camadas, isto é, se faz necessário utilizar a espessura da camada de solo da primeira camada que não foi utilizada para efeito de cálculo lá, na segunda camada, assim ter-se-ia na camada de 10-30 cm: 0; 0,81; 1,01; 1,20 e 1,32 cm derivados da primeira camada (0-10 cm) não utilizados para efeito de cálculo lá e 20; 17,46; 17,00; 16,44 e 16,08 cm para os tratamentos referência, A, B, C e D, da segunda camada. Nota-se que neste procedimento para equivalência da massa de solo, nem toda a espessura do solo é utilizada, gerando o que foi aqui chamado de ajuste residual.

Exemplo 1 – continuação - Cálculo da correção da massa de solo. 10-30 cm.

Tratamentos	Componentes da camada de 10-30 cm		Espessura utilizada	Ajuste Residual (cm)
	Camada de 0-10 cm	Camada de 10-30 cm		
Referência	0,00	20,00	30,00	0,00
A	0,81	17,46	27,46	2,54
B	1,01	17,00	27,00	3,00
C	1,20	16,44	26,44	3,66
D	1,32	16,08	26,08	3,92

Desta forma e seguindo este procedimento é feito o ajuste de massa do solo camada a camada. Para se estimar o estoque de nutrientes do solo por camada, basta multiplicar-se o resultado da análise deste nutriente, em cada camada, por sua massa respectiva já ajustada. Aproveitando ainda o exemplo acima, nota-se que a camada de 10-30 cm possui na verdade massa de solo correspondente a camada inicial (0-10 cm) e dela própria (10-30 cm). Para se calcular portanto o estoque de nutrientes, deve-se multiplicar o teor de nutriente na camada de 0-10 cm, pela massa de solo remanescente desta camada que foi utilizada para determinação da massa de solo da camada de 10-30 cm e somá-la ao resultado da multiplicação da massa de solo presente na camada de 10-30 cm pelo teor de nutrientes desta camada. O ajuste residual deve ser calculado fazendo-se a multiplicação do teor de nutrientes da última camada analisada pela massa de solo não considerada nas camadas anteriores.

Nota-se que sem este ajuste da correção do solo no tratamento D por exemplo, a forma de cálculo tradicional acarretaria numa superestimativa do estoque de nutrientes no solo, quando comparado ao tratamento referência em mais de 12%. Desta forma, se faz necessário este ajuste e preferencialmente camada a camada para que se possa representar melhor a realidade do impacto do manejo realizado no solo.