

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Produtividade, Fertilidade e Fauna do Solo em um
Argissolo Amarelo Cultivado com Cana-de-Açúcar
sob Diferentes Sistemas de Colheita**

Eloísa dos Santos Benazzi

2011



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

**PRODUTIVIDADE, FERTILIDADE E FAUNA DO SOLO EM UM
ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA**

ELOÍSA DOS SANTOS BENAZZI

Sob a Orientação do Professor
Everaldo Zonta

e Co-orientação do Professor
Eduardo Lima

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2011

633.61
B456p
T

Benazzi, Eloísa dos Santos, 1985-
Produtividade, fertilidade e fauna do solo em um argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita / Eloísa dos Santos Benazzi – 2011.
125 f. : il.

Orientador: Everaldo Zonta.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.
Bibliografia: f. 95-106.

1. Cana-de-açúcar – Cultivo – Teses. 2. Cana-de-açúcar – Cultivo – Espírito Santo (Estado) – Teses. 3. Fauna do solo – Espírito Santo (Estado) – Teses. 4. Cana-de-açúcar – Colheita – Espírito Santo (Estado) – Teses. I. Zonta, Everaldo, 1970-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

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

ELOÍSA DOS SANTOS BENAZZI

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/02/2011.

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ
(Co-Orientador)

Heroldo Weber. Dr. PMGCA/UFPR

Mauri dos Santos Manhães. Dr. UFRRJ

EPÍGRAFE

“Our deepest fear is not that we are inadequate. Our deepest fear is that we are powerful beyond measure. It is our light, not our darkness that most frightens us. We ask ourselves: Who am I to be brilliant, gorgeous, talented, fabulous? Actually, who are you not to be? You are a child of God. Your playing small does not serve the world. There is nothing enlightened about shrinking so that other people won't feel insecure around you. We are all meant to shine, as children do. We were born to make manifest the glory of God that is within us. It's not just in some of us; it's in everyone. And as we let our own light shine, we unconsciously give other people permission to do the same. As we are liberated from our own fear, our presence automatically liberates others.”
(Marianne Williamson)

DEDICATÓRIA

A meus pais e irmãos.

**Aos meus sobrinhos, Maximiliano e Danilo,
capazes de encher de alegria
e vida qualquer espaçinho ...**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que mais uma etapa se cumpra em minha vida.

Aos meus pais por lutarem para que nossos caminhos fossem mais leves de serem trilhados, nos deixando sempre um degrau acima de onde eles chegaram.

Aos meus irmãos pelos anos de convivência e apoio nas horas “desesperadas” e por trazerem à vida duas criaturinhas maravilhosas, que nos encham de ternura, encantamento e alegria.

Ao meu namorado - e melhor amigo - que, mesmo longe, esteve sempre presente.

Ao meu orientador, Dr. Everaldo Zonta, pelo incentivo, confiança, auxílio em todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho e paciente revisão do texto.

Ao co-orientador, Dr. Eduardo Lima, pela oportunidade e confiança em desenvolver o tema da dissertação em seu experimento, pela disposição e presença a cada coleta e em cada dúvida e pelo exemplo de bom trato as pessoas.

A pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, Dr^a. Maria Elizabeth Fernandes Correia por, juntamente com sua equipe do laboratório de Fauna do Solo, me adotar e guiar meus passos nesse novo mundo, pela constante disposição em ajudar, pelo carinho com que me receberam, meu muito obrigada! A Ma. Miriam por tudo e mais um pouco.

A turma de mestrado e doutorado de 2009 pelas experiências trocadas e momentos de descontração: Erica (que me acompanha de longa data!), Camila, as meninas (Paulinha, Itaynara, Carol, Débora, Rose, Juliana e Cássia) e meninos (Alessandro, Jakson, Anatoly, Willian, Marcus, Selenobaldo, Péricles, Sael e os agregados Deivid, Anderson e Orlando).

Ao pessoal dos laboratórios de Gênese e Classificação do Solo e de Química do Solo, os novos e antigos integrantes.

Aos companheiros de laboratório e “salinha” pelo convívio, conversas, auxílios, conselhos ... Especialmente ao Fabiano, o recém-chegado mais presente que existe no mundo, pelo verdadeiro sentido da palavra amizade e por nunca me negar nada (paciência de Jó esse menino tem, uai!).

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela formação profissional e pessoal e ao CPGA-CS pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

Aos professores do Departamento de Solos pelo exemplo de profissionalismo, dedicação e aos ensinamentos, que tanto me estimularam.

Aos funcionários Marquinhos, Roberto, Luciene, Cris e Beth pelo convívio e presteza na solução de problemas. Seu Pedro, Carlinhos, Lena e Anselmo pelos muitos “bons-dias” a cada manhã.

Ao Moraes, que mesmo após 12 longas horas de viagem estava disposto a ajudar nos trabalhos de campo (o melhor dançarino da palha e datilógrafo das areias que já conheci!), pelas conversas nos jantares (meu companheiro de prato preferido!) e por aturar minhas constantes batidinhas em seu braço pedindo pra ir mais devagar.

A FAPUR pelo suporte financeiro durante as viagens.

Ao Campus Dr. Leonel Miranda pela infraestrutura disponibilizada e, principalmente, aos técnicos Geraldinho, Gilson e Leôncio pela alegre e agradável companhia.

À Usina LASA por cuidar bem do “nosso” experimento e ceder mão-de-obra necessária, garantindo o andamento das atividades.

A CAPES pela concessão da bolsa, possibilitando a dedicação exclusiva à pesquisa.

A todos que direta, ou indiretamente contribuíram para a concretização desse trabalho.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Eloísa dos Santos Benazzi, filha de Danilo Sergio dos Santos Benazzi e Ezilda dos Santos Benazzi, nasceu em Paracambi – RJ em 08 de novembro de 1985. Em 2000 ingressou no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (CTUR) cursando ensino médio e profissionalizante em Agropecuária com habilitação em Agropecuária Orgânica. Iniciou a graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2003, obtendo o título de Engenheira Agrônoma em 2008. Durante a graduação foi monitora das disciplinas Morfologia e Física do Solo (2006), e Fertilidade do Solo (2006-2008) ambas do Departamento de Solos. Em março de 2009 ingressou no curso de pós-graduação em nível de mestrado na mesma instituição.

RESUMO GERAL

BENAZZI, E. S. **Produtividade, fertilidade e fauna do solo em um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita.** 2011. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

O trabalho foi desenvolvido, em área cedida pela Usina LASA no município de Linhares – ES situada na zona estratigráfica denominada Baixo Rio Doce, em Argissolo Amarelo textura arenosa/média. A vegetação primária remanescente é representada pela Floresta Tropical Subperenifólia e a altitude local é de 28m. O clima da região é o Aw na classificação de Köppen. A cana-de-açúcar tem grande importância econômica no Brasil e um cenário favorável no país – maior produtor mundial e detentor da tecnologia de produção de etanol de cana. Porém, as pressões para inclusão e/ou ampliação das fontes renováveis na matriz energética mundial, com vistas a mitigação dos gases do efeito estufa, e da proibição da prática da queima no manejo da cana-de-açúcar, torna-se necessário avaliar os efeitos da manutenção ou eliminação da palhada na superfície do solo. Sendo assim, os objetivos do presente trabalho foram: consolidar as informações referentes a experimento de longa duração na área em estudo, quanto à fertilidade e fauna do solo (Capítulo I); avaliar os impactos promovidos pelo manejo da colheita sobre os parâmetros de fertilidade do solo (Capítulo II), a atividade da macrofauna edáfica (Capítulo III), e produtividade da cultura (Capítulo IV). No Capítulo I a compilação dos estudos revelou que a palhada influencia positivamente, na superfície do solo, os valores de carbono orgânico, pH, Mg, Ca, valor S, valor V e CTC (valor T); a queima da cana, pela adição de cinzas, elevou os teores de K e P em superfície, e de Ca e Mg em profundidade. Quanto a fauna do solo, o tratamento cana crua apresentou superioridade de indivíduos para população de minhocas em duas épocas, e para mesofauna na profundidade de 0-5 cm; já o tratamento com queima permitiu um maior número de indivíduos na camada de 5-10 cm. Em ambos os tratamentos, houve participação dos mesmos grupos funcionais embora, para a cana queimada, a presença de microrganismos que vivem em profundidade se aproveitando da matéria orgânica ofertada pelo sistema radicular tenha sido maior e, para a cana crua houve maior presença de larvas (saprófagos). No Capítulo II, os resultados indicam que tratamentos com manutenção da palhada apresentaram, superficialmente, maiores valores para carbono orgânico, H+Al, Ca, Mg, Valores S e T. Os tratamentos com queima tiveram os maiores valores de K e P em superfície, indicando a composição do material que originou a cinza (palha da cana). Entre os períodos de coleta, foram observadas diferenças devido as condições edafoclimáticas, que favoreceram a decomposição, para os teores de carbono orgânico no solo. No Capítulo III concluiu-se que os índices de diversidade de Shannon e riqueza foram mais eficientes que a densidade total na avaliação da influência dos sistemas de colheita da cana, estando os seus maiores valores relacionados às áreas colhidas sem queima. No Capítulo IV, não foi detectado o efeito dos tratamentos sobre a produtividade de colmos e folhas, mas este surgiu na avaliação de ponteiros, onde a maior produtividade ocorreu sob o sistema cana crua.

Palavras-chave: Propriedades químicas. Fauna edáfica. Rendimento de cana-de-açúcar.

GENERAL ABSTRACT

BENAZZI, E. S. Productivity, soil fertility and fauna in a Xanthic Ultisol cultivated with sugar cane under different harvesting systems. 2011. 112 p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

The study was conducted in an area of Usina LASA, in Linhares municipality, Espírito Santo State, located in the Baixo Rio Doce stratigraphic zone, in a sandy loam Xanthic Ultisol. The remaining primary vegetation is represented by the Tropical Rainforest and the local altitude is of 28m. The climate is Aw in the Köppen classification. Sugar cane is highly important economically and it has a favorable production scenario in Brazil - world's largest producer and holder of technology for producing ethanol from sugar cane. However, the pressures for inclusion and/or expansion of renewable sources in the global energy matrix, toward the mitigation of greenhouse gases, and the ban on burning practices in the management of sugar cane, made necessary to evaluate the effect of maintenance or disposal of cane stubbles on the soil surface. Thus, the objectives of this study were: to consolidate information on a long term experiment in the studied area, about soil fertility and fauna (Chapter I); to assess the impact promoted by harvesting management on soil fertility parameters (Chapter II), on soil macrofauna activity (Chapter III), and on crop productivity (Chapter IV). In Chapter I, the compilation of studies showed that stubble positively influences, on soil surface, the values of organic carbon, pH, Mg, Ca, S value, V value, and CTC (T value); the cane burning, adding ash, increased K and P levels on surface, and Ca and Mg in depth. Regarding soil fauna, cane treatment without burning showed superiority of earthworm population in two seasons, and soil mesofauna at 0-5 cm depth; otherwise the treatment with cane burning allowed for a greater number of individuals in the 5 - 10 cm layer. In both treatments, the same functional groups were observed, but for burnt sugar cane, the presence of microphagous, which live at a lower soil depth and take advantage of the organic matter supplied by the root system, was greater. The green cane showed greatest presence of larvae (saprophages). In the Chapter II, the results indicated that treatment with stubble maintenance showed, on the surface, highest values of organic carbon, H + Al, Ca, Mg, S and T values. The burnt treatments showed the highest values of K and P on surface, reflecting the composition of the ash material where it was originated (cane straw). Among the sampling periods, there were differences due to climate conditions, which contributed for organic carbon decomposition in the soil. In the Chapter III it was concluded that the indexes of Shannon diversity and richness were more efficient than the total density to evaluate the influence of cane harvesting systems, with the highest values related to areas harvested without burning. In the Chapter IV, the effect of the treatments on stems and leaves yield was not detected; however it was noted in the evaluation of pointers, where the highest productivity occurred in the green cane system.

Key words: Chemical properties. Soil macrofauna. Sugar cane yield.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Atividade da fauna do solo no processo de decomposição e na estrutura do solo. ...	8
Tabela 2. Estudos sobre as alterações promovidas pela colheita com ou sem queima da cana-de-açúcar em Linhares – ES (LASA).....	19
Tabela 3. Teores de carbono orgânico em função do tratamento e da profundidade no Argissolo Amarelo estudado.	20
Tabela 4. Índice de pH e teores de alumínio trocável e acidez potencial em função do tratamento e da profundidade.	22
Tabela 5. Teores de bases trocáveis e soma de bases em função do tratamento e da profundidade.	23
Tabela 6. Valores da capacidade de troca de cátions calculada e de saturação por bases em função do tratamento e da profundidade.	25
Tabela 7. Teores de fósforo disponível em função do tratamento e da profundidade.	27
Tabela 8. Número de minhocas.	27
Tabela 9. Grupos funcionais, N ^o de indivíduos coletados (NIC), Erro padrão (EP), Porcentagem do total (%) e Densidade (Ind m ⁻²) na profundidade de 0-5 cm para os tratamentos cana crua e cana queimada.	28
Tabela 10. Grupos funcionais, N ^o de indivíduos coletados (NIC), Erro padrão (EP), Porcentagem do total (%) e Densidade (Ind m ⁻²) na profundidade de 5-10 cm para os tratamentos cana crua e cana queimada.	29
Tabela 11. Índice de Shannon (H); Pielou (e); Riqueza (D).....	29
Tabela 12. Resultado da análise química para um Argissolo Amarelo, em Linhares (ES) submetido a diferentes manejos de colheita. Valores referentes à coleta de fevereiro de 2010.	42
Tabela 13. Resultado da análise química para um Argissolo Amarelo, em Linhares (ES) submetido a diferentes manejos de colheita. Valores referentes à coleta de novembro de 2010.	43
Tabela 14. Densidade total da macrofauna edáfica ⁽¹⁾ (ind m ⁻²) e índices ecológicos em função do tratamento.	69
Tabela 15. Distribuição da densidade da macrofauna ⁽¹⁾ (ind m ⁻²) por grupos para o mês de fevereiro/2010.	72
Tabela 16. Distribuição da densidade da macrofauna ⁽¹⁾ (ind m ⁻²) por grupos para o mês de julho/2010.	72
Tabela 17. Densidade da macrofauna edáfica ⁽¹⁾ por grupo em função do tratamento e do compartimento avaliado (palha ou solo) para a coleta de fevereiro/2010.	75
Tabela 18. Densidade da macrofauna edáfica ⁽¹⁾ por grupo em função do tratamento e do compartimento avaliado (palha ou solo) para a coleta de julho/2010.	77
Tabela 19. Produtividade de colmos, folhas e pontas em resposta aos sistemas de colheita em rendimentos absolutos e relativos (%) para a safra 2008/2009 (3 ^a soqueira).	88
Tabela 20. Produtividade de colmos, folhas e pontas em resposta aos sistemas de colheita em rendimentos absolutos e relativos para o ano agrícola 2009/2010 (4 ^a soqueira).	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental. A- Vista frontal dos blocos; B- Interior das parcelas.....	35
Figura 2. Média mensal das máximas e mínimas temperaturas em Linhares – ES: A – em 2009 e B – em 2010. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2009) e Incaper (2010). .	36
Figura 3. Pluviosidade em Linhares – ES: A - em 2009 e B – em 2010. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2009) e Incaper (2010).....	36
Figura 4. Características visuais da cana-de-açúcar, cultivar SP79-1011.....	37
Figura 5. Croqui do Experimento. A distribuição original das parcelas foi descrita por TAVARES (2007).....	38
Figura 6. A - Coleta de solo na profundidade 0-10 cm e B – Coleta na profundidade de 10-20 cm.....	39
Figura 7. Coleta de solo na profundidade de 20-40 cm.....	39
Figura 8. Teores de carbono orgânico em função do tratamento e da profundidade.	45
Figura 9. Valores de pH em função do tratamento e da profundidade.....	46
Figura 10. Teores de alumínio trocável em função do tratamento e da profundidade.	48
Figura 11. Valores para acidez potencial (H+Al) em função do tratamento e da profundidade	49
Figura 12. Teores de cálcio trocável em função do tratamento e da profundidade.....	51
Figura 13. Teores de magnésio trocável em função do tratamento e da profundidade.....	52
Figura 14. Teores de sódio trocável em função do tratamento e da profundidade.....	53
Figura 15. Teores de potássio trocável em função do tratamento e da profundidade.	54
Figura 16. Valores da soma de bases (Valor S) em função do tratamento e da profundidade.	55
Figura 17. Valores da CTC (Valor T) do solo em função do tratamento e da profundidade..	57
Figura 18. Valores da saturação por bases (Valor V) do solo em função do tratamento e da profundidade.	58
Figura 19. Teores de fósforo disponível em função do tratamento e da profundidade.....	59
Figura 20. Triagem da macrofauna edáfica. A - Fauna armazenada e conservada; B - Preparo do material para observação em lupa; C - Placa de Petri em lupa com os indivíduos a serem classificados.....	67
Figura 21. Composição relativa (%) dos grupos da macrofauna em função do tratamento. Dados relativos a coleta de fevereiro/2010.	73
Figura 22. Composição relativa (%) dos grupos da macrofauna em função do tratamento. Dados relativos a coleta de julho/2010.	74
Figura 23. Distribuição vertical da macrofauna edáfica para a coleta de fevereiro/2010.	76
Figura 24. Distribuição vertical da macrofauna edáfica para a coleta de julho/2010.	78
Figura 25. Colheita da cana-de-açúcar e coleta dos parâmetros produtivos.A- Limpeza e separação de colmos, pontas e palha; B- Pontas, colmos e palhas prontos para pesagem; C- Pesagem.	86
Figura 26. Produtividade de colmos em função do tratamento para os anos de 2009 (3 ^a soca) e 2010 (4 ^a soca).....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REVISÃO DE LITERATURA GERAL.....	2
2.1	Panorama da Cultura	2
2.2	Sistemas de Colheita da Cana-de-açúcar.....	3
2.3	Atributos Químicos do Solo	6
2.4	Fauna Edáfica	7
2.5	Produtividade.....	10
3	CAPÍTULO I HISTÓRICO DOS EXPERIMENTOS NA USINA LASA (PROJETO CANA CRUA / CANA QUEIMADA)	13
3.1	RESUMO	14
3.2	ABSTRACT	15
3.3	INTRODUÇÃO.....	16
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.5	RESULTADOS	19
3.5.1	Atributos químicos do solo.....	20
3.5.2	Fauna edáfica.....	27
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
4	CAPÍTULO II EFEITO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA SOBRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM LINHARES - ES.....	31
4.1	RESUMO	32
4.2	ABSTRACT	33
4.3	INTRODUÇÃO.....	34
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.4.1	Localização e descrição da área experimental.....	35
4.4.2	Cultivar de cana-de-açúcar (características).....	37
4.4.3	Delineamento experimental e tratamentos	37
4.4.4	Amostragem	38
4.4.5	Métodos analíticos.....	40
4.4.6	Interpretação dos dados e tratamento estatístico	40
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.6	CONCLUSÕES	60
5	CAPÍTULO III EFEITO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA SOBRE A DINÂMICA DA MACROFAUNA EDÁFICA EM UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR.....	61
5.1	RESUMO	62
5.2	ABSTRACT	63
5.3	INTRODUÇÃO.....	64
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
5.4.1	Localização e descrição da área experimental.....	65
5.4.2	Cultivar de cana-de-açúcar (características).....	65
5.4.3	Delineamento experimental e tratamentos	65
5.4.4	Métodos de amostragem.....	66
5.4.5	Métodos analíticos.....	66

5.4.6	Interpretação dos dados e tratamento estatístico	67
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.5.1	Índices ecológicos.....	69
5.5.2	Composição relativa da macrofauna.....	71
5.5.3	Distribuição vertical e grupos funcionais da macrofauna	74
5.6	CONCLUSÕES	80
6	CAPÍTULO IV EFEITO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA SOBRE OS PARÂMETROS PRODUTIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM ARGISSELO AMARELO, LINHARES - ES	81
6.1	RESUMO	82
6.2	ABSTRACT	83
6.3	INTRODUÇÃO.....	84
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	85
6.4.1	Métodos de amostragem.....	85
6.4.2	Métodos analíticos.....	85
6.4.3	Interpretação dos dados e tratamento estatístico	86
6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
6.6	CONCLUSÕES	92
7	CONCLUSÕES GERAIS.....	93
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
10	ANEXOS.....	107

1 INTRODUÇÃO GERAL

A importância da cana-de-açúcar para o desenvolvimento econômico do país é inegável. Ela se reflete na múltipla utilização da lavoura, na alimentação, produção de fármacos, combustíveis, papéis, solventes, plásticos biodegradáveis, dentre outros produtos de menor importância, além de que seus resíduos podem ser utilizados na íntegra como condicionadores ou fertilizantes de solo. Ainda, ressalta-se o papel social devido à geração de empregos diretos e indiretos, e, ambientalmente, pode contribuir para a fixação de carbono.

O Brasil, além de ser o maior produtor e exportador mundial detém a tecnologia de produção de etanol de cana-de-açúcar ocupando no cenário mundial posição destaque no que diz respeito a fontes renováveis de energia. Discussões acerca da produção de combustíveis limpos e renováveis, visando exploração agrícola sustentável, passam pelo cerne de extensas áreas ocupadas com monocultivos, da expansão das fronteiras agrícolas e da ocupação de terras produtivas destinadas às culturas alimentícias. Neste contexto, na cultura da cana-de-açúcar parte desse problema foi resolvida - visto que está em vias de publicação a portaria sobre zoneamento agrícola da cana-de-açúcar, e o país investe em novas tecnologias, tanto pela ciência básica (conhecimento), quanto pela aplicada (inovação e tecnologias) – visando maiores produtividades sem ampliação de áreas, de forma racional, eficiente e sustentável.

O incremento de produtividade exigiu algumas adaptações ao setor sucroalcooleiro, com destaque para o manejo da colheita. Esta foi motivada, principalmente, por questões ambientais devido aos diversos problemas causados pela queima dos canaviais ao meio ambiente, logo a nova forma de colheita beneficia a relação solo-planta e o ambiente.

A mudança no sistema de colheita da cana tem impulsionado a realização de pesquisas regionais com o objetivo de avaliar seus efeitos sobre as características químicas, físicas, físico-químicas e biológicas do solo, bem como sobre a cultura. Um dos estudos mais antigos da forma de colheita do canavial é realizado pela equipe do Departamento de Solos, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Nesse estudo, nos últimos 20 anos é avaliado o cultivo da cana com e sem queima prévia do canavial, com o intuito de gerar informações sobre as vantagens e desvantagens dos dois sistemas de manejo da colheita.

No sistema de colheita da cana-de-açúcar sem queima, seja manual ou mecanizada, uma quantidade considerável de resíduos vegetais (palha ou palhada) é depositada no solo. De acordo com Wood (1991) e Ceddia et al. (1999), este acúmulo de material promove alterações significativas de ordem química, física e biológica no agroecossistema, com conseqüências positivas sobre a fertilidade do solo.

A necessidade de respostas quanto aos diferentes sistemas de colheita justifica estudos que comparem tais metodologias e avaliem os impactos socioeconômicos e ambientais.

Sendo assim, este trabalho tem por finalidade consolidar informações referentes aos mais de vinte anos de Projeto Cana Crua/Cana Queimada, experimento de longa duração executado em área cedida pela Usina LASA (Linhares – ES), através da organização do histórico da área no que se refere à fertilidade e fauna do solo. E, com base na hipótese de que os sistemas de colheita da cultura influenciam a dinâmica da fertilidade e da fauna do solo, afetando a produtividade da cultura - avaliar a influência do manejo sobre a produtividade da cana-de-açúcar, a fertilidade e a macrofauna edáfica do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 Panorama da Cultura

A área ocupada pela cana-de-açúcar no País é destinada ao setor sucroalcooleiro alcançou 8,1 milhões de hectares na safra 2010/2011, ou 9,2% a mais do que no ciclo anterior (SALVADOR, 2010). Em relação à área total, o Estado de São Paulo representa 54,23% (4.357,01 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,1% (649,94 mil hectares), Paraná com 7,25% (582,32 mil hectares), Goiás com 7,46% (599,31 mil hectares), Alagoas com 5,46% (438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,93% (396,16 mil hectares) e Pernambuco com 4,32% (346,82 mil hectares). As áreas plantadas para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo são, respectivamente 51,33 mil hectares e 68,65 mil hectares (CONAB, 2011). O total de área plantada com a cultura representa apenas 0,95% do território nacional (SALVADOR, 2010).

O Brasil, que é o maior produtor mundial seguido por Índia, Tailândia e Austrália - produzindo mais de 600 milhões de toneladas de cana (SALVADOR, 2010) – também lidera em termos de tecnologia de produção de etanol (UNICA, 2009). Além de matéria-prima para a produção de açúcar e álcool, os subprodutos e resíduos da atividade canavieira são utilizados para co-geração de energia elétrica, fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras, entre outros (Embrapa/CNPq, 2009).

Atualmente, a possibilidade de produção de etanol a partir da quebra da celulose, leva o Brasil a investir em pesquisa e desenvolvimento (PeD) para solidificar a posição de líder na produção de biocombustíveis. Afinal a quebra da celulose para geração de energia, teoricamente, pode ser feita a partir de qualquer material vegetal e, nesse aspecto, países europeus e os Estados Unidos detêm recursos, tecnologia de ponta e estão dispostos a entrar na corrida pelo chamado etanol de segunda geração. Assim, as pesquisas enveredam pela genética a fim de aumentar a produção, sem que para isso seja preciso expandir a área plantada, de forma racional e eficiente. Recorre-se então às técnicas de transgenia buscando desenvolver uma variedade tolerante a seca (não exija tanta água no início do desenvolvimento), que fixe mais carbono e que aumente a produção de energia sem necessariamente elevar a de açúcar. Marcos Buckeridge, botânico da USP e diretor científico do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) não tem dúvidas de que, no futuro, a biotecnologia vai transformar a cana numa verdadeira biofábrica, capaz de produzir de forma renovável substitutos para todos os derivados do refino do petróleo. No futuro teremos biorrefinarias capazes de produzir solventes, tintas, fertilizantes, inseticidas e todo tipo de biomateriais a partir de variedades de cana-de-açúcar geneticamente projetadas para esse fim (BELLINGHINI, 2010; ver Anexo 1).

A produtividade média brasileira apresentou significativa elevação nos últimos anos, porém, se conjectura que muito pode ser melhorado. Em 2008 foram colhidas 623 milhões de toneladas no Brasil e a produtividade média foi de 78 toneladas por hectare (SEC. de ESTADO de AGRIC., PEC. e ABASTECIMENTO de MG, 2009). Para a safra 2010/2011 a previsão de produção total de cana-de-açúcar a ser moída pela indústria sucroalcooleira é de 664,33 milhões de toneladas. Esse total consolida mais um recorde nacional e, segundo o primeiro levantamento da safra feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produtividade média agora é de 82,1 toneladas por hectare (SALVADOR, 2010). Tendo a cultura alto retorno por hectare plantado e sendo baixo o custo de produção do açúcar no país, isso possibilita que haja competição no mercado internacional. Tal mercado é, entretanto,

volátil e apresenta grandes oscilações de preços (BIODIESELBR ONLINE LTDA., 2009), mesmo assim a cana-de-açúcar é uma das culturas de maior importância comercial no mundo.

O terceiro levantamento da safra realizado pela CONAB apontou um decréscimo de 4,6% no rendimento de colmos da safra 2010/2011 em relação à safra anterior (81 toneladas por hectare), sendo a produtividade média estimada em 77 toneladas por hectare; tal redução foi consequência das chuvas abaixo da média histórica na região centro-sul. Levando em conta o rendimento da safra anterior, o centro-oeste apresenta redução de 2,91%, o sudeste de 5,60% e no sul a perda foi de 11,20% (CONAB, 2011).

A agroindústria brasileira atingiu nos últimos anos papel de destaque na economia nacional. O dinamismo do mercado se deve a fatores como: aumento da safra agrícola, da exportação e dos preços internacionais. Mas até chegar a isso, a agroindústria percorreu um longo caminho, principalmente nos mercados de açúcar e álcool (COPERSUCAR, 2009).

O Brasil, embora grande produtor de açúcar desde a Colônia expandiu a cultura a partir da década de 1970, com o advento - impulsionado pelas crises do petróleo e do açúcar - do Programa Nacional do Álcool (Pro-Álcool) (BRUM, 1991).

Este programa, lançado em 14 de novembro de 1975, deveria suprir o país em um combustível alternativo e menos poluente que os derivados do petróleo. Previa também que a produção de álcool oriundo da cana-de-açúcar, mandioca, ou qualquer outro insumo seria incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas com ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras. Com a implantação do programa a intenção do Estado era também a de transferir para a agricultura a responsabilidade de superação da crise do petróleo, que afetara profundamente o Brasil, já que este era grande importador do produto (BIODIESELBR ONLINE LTDA., 2009).

As áreas de maior expansão da cultura nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Sul da Bahia e na região Nordeste estão localizadas em solos do Terciário, da série Barreiras, conhecidos como solos de “tabuleiros” e algumas áreas de morros. Estes são solos de textura arenosa a argilo arenosa, relativamente porosos e bem drenados na camada superficial agricultável (TAVARES, 2007). Sua topografia varia de levemente ondulada, com algumas superfícies planas, a movimentada e acidentada. São por isso, bastante sujeitos a danos causados pela erosão (PEIXOTO, 1986). Tais solos, geralmente, apresentam deficiência de fósforo, cálcio e/ou magnésio e baixa concentração de matéria orgânica. Consequentemente, estes solos apresentam menor capacidade troca catiônica e de retenção de água (SIMÕES NETO et al., 1987).

Os esforços para superar os choques do petróleo promoveram grande desenvolvimento tecnológico aos setores agrícola e industrial da cana-de-açúcar. Atualmente, pouco mais de trinta anos depois do início do Pro-álcool, o Brasil vive nova expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. A nova escalada não é um movimento comandado pelo governo, como a ocorrida no final da década de 70, ela agora é movida por decisões da iniciativa privada, convicta de que o álcool terá um papel cada vez mais importante como combustível no Brasil e no mundo. A preocupação ambiental se somou à redução dos estoques e à alta dos preços dos combustíveis fósseis para valorizar as fontes renováveis e menos poluentes de energia (BIODIESELBR ONLINE LTDA., 2009).

2.2 Sistemas de Colheita da Cana-de-açúcar

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 (CAMPOS, 2003). Assim, a queima prévia dos canaviais passou a ser praticada em larga escala (CEDDIA et al., 1999). Além disso, havia

vigoroso revolvimento do solo por ocasião do plantio, com uso de arados, grades pesadas e subsoladores.

Como mencionado, ao fim do ciclo produtivo é realizada a queima da palhada precedendo a colheita, o que é prejudicial à manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo. A queima favorece a mineralização da matéria orgânica já existente (CEDDIA et al., 1999), além de o solo permanecer descoberto por um período longo, acelerando o processo erosivo e culminando com a depauperação de suas propriedades físicas e químicas (MOLINA, 1995; MENDOZA, 1996).

A prática da queima visa facilitar e baratear o corte manual, fazendo com que: a produtividade do trabalho do cortador aumente; diminuam os acidentes de trabalho; os custos do carregamento e transporte sejam reduzidos; aumente a eficiência das moendas, que não precisam interromper seu funcionamento para limpeza da palha. Por outro lado, essa prática tem conseqüências desastrosas para o ambiente (SOUZA et al., 2005).

O tipo de colheita da cultura pode influenciar sua produção e longevidade, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o meio ambiente e a saúde pública. Particularmente, o sistema de colheita com queima elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera (SOUZA et al., 2005). Leva também à perda da matéria bruta, prejuízos no caso de atraso no corte, maior dificuldade na purificação e conservação de caldos, destruição dos inimigos naturais de pragas da cana, de matéria orgânica e micro e/ou macrofauna, poluição atmosférica; ao aumento de riscos na deterioração da cana, favorecimento da infestação de microorganismos nos colmos; além dos riscos de incêndios em áreas de preservação (ROCHA, 2007).

Assim, através de decretos estaduais que proibam esta prática, alguns Estados produtores estão diminuindo a queima dos canaviais com a introdução da colheita mecanizada, cuja utilização intensificou-se na década de oitenta, como alternativa de substituição parcial da colheita manual, ainda queimando-se o canavial (GUEDES, 2002).

A colheita mecanizada sem queima da palha deverá ser implantada na maioria das regiões canavieiras do Brasil solucionando o problema da falta de mão-de-obra na colheita em algumas regiões e gerando desemprego em outras, onde a colheita da cana-de-açúcar sustenta milhares de famílias (GUEDES, 2002). Sendo assim, a questão deve ser tratada com amplitude para que não deixe de atender aos interesses dos produtores que buscam eficiência, redução de custos e lucratividade do negócio, nem contribua para aumentar o latente problema social no Brasil (ROCHA, 2007).

A legislação prevê que até 2020, 100% da área de cana-de-açúcar no estado de São Paulo deixe de ser queimada antes da colheita. Há uma exceção da lei de caráter tecnológico: a colheita mecanizada só pode ser realizada em terrenos com declividade máxima de 12%. Portanto, para áreas com declividade superior a essa, o prazo para extinção das queimadas foi estendido até 2031 (ROCHA, 2007).

Para o Espírito Santo foi sancionada a lei Estadual 9.073/2008 (BERNARDES, 2010) que visa à eliminação gradativa da prática de queimadas nas colheitas de cana-de-açúcar. Com a lei, o governo garante querer extinguir o uso de fogo direto como método facilitador no corte (MEDEIROS, 2008). Os prazos e metas percentuais estabelecidos podem ser revistos, desde que respeitado o prazo final de 2020, tendo em vista razões fundamentadas em estudos técnico-científicos que considerem o perfil socioeconômico dos pequenos fornecedores de cana-de-açúcar, as condições de relevo de suas propriedades e os padrões tecnológicos dominantes. Fica também proibida à queima, a céu aberto, do bagaço ou de qualquer outro subproduto da cana-de-açúcar, independente de sua finalidade (MEDEIROS, 2008). Recentes crises do setor energético estimulam as usinas a gerar energia através da queima do bagaço e da palha da cana (GUEDES, 2002). O não cumprimento da lei sujeitará o infrator às sanções e penalidades previstas na legislação aplicável (MEDEIROS, 2008).

Em fevereiro de 2010 foi decidido em caráter de urgência pela Assembléia Legislativa que o Projeto de Lei nº462/2009 não terá futuro no Espírito Santo. A matéria modificaria os prazos para 2025. Com isto fica mantido o prazo previsto (2020) para acabar com a prática da queima da cana-de-açúcar (BERNARDES, 2010).

Os ambientalistas defendem que tanto empresas, quanto os órgãos responsáveis na fiscalização poderiam adotar medidas mitigatórias antes do prazo limite já que para isso há condições, e o prejuízo ambiental é maior do que os econômicos apontados pelos empreendedores. Da área cultivada com cana-de-açúcar no País, 80% são queimadas nos seis meses de pré-colheita gerando gases poluentes que, além de contribuir para o aquecimento global, provocam reações alérgicas e inflamatórias ao penetrar no sistema respiratório. Além disso, se descontroladas, as queimadas podem atingir áreas de mata nativa causando ainda mais prejuízos ao meio ambiente, como ocorreu em Ecoporanga (noroeste do Estado do Espírito Santo), no ano de 2003 (BERNARDES, 2010).

De acordo com a lei Estadual 9.073/2008 (ES), os proprietários rurais, arrendatários e as indústrias que possuam, direta ou indiretamente, áreas destinadas ao plantio de cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar que utilizem como método de pré-colheita o fogo estão obrigados a tomar as providências necessárias para reduzir e, posteriormente, eliminar tal prática. As áreas de cultivo já implantadas com declividade de até 12% deverão eliminar a utilização da queima em 70% do território até 2014; em 2019 deve ocorrer a eliminação total. Nas com declividade superior a 12%, o prazo será dividido em três etapas: até o ano de 2014, deve ser eliminada a prática em pelo menos 30% da área; em 2019, deve ocorrer o controle em 60%; e em 2020 a eliminação completa (MEDEIROS, 2008).

Mas para que isso ocorra é necessário que se façam investimentos em equipamento e treinamento de equipes para mecanização, que pode causar impactos sobre o solo, à lavoura e a matéria-prima; e problemas como: pisoteio e arranquio da soqueira; falhas de brotação e redução do vigor; compactação do solo influenciado pela umidade, pressão (carga) e pelo tráfego intenso. A partir de 1992, diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento foram iniciados pelo Centro de Tecnologia Canavieira - CTC com a colaboração de unidades associadas visando encontrar soluções para viabilizar a colheita mecanizada da cana crua (BENEDINI e DONZELLI, 2009).

As pesquisas mostraram que a colheita mecanizada da cana crua, se manejada adequadamente, não compromete a produtividade, diferente do que era esperado. A palha remanescente da colheita, além de possibilitar redução no consumo de herbicidas, protege a superfície do solo de processos erosivos sendo, portanto, fator decisivo na implantação de sistemas não convencionais e integrados de conservação do solo possibilitando eliminar os terraços em áreas de canaviais com declividade inferior a 6%, em determinadas condições, e efetuar sulcamento retilíneo. Esta retorna ao solo quantidades significativas de nutrientes, em especial o potássio, resultando em possível economia de fertilizantes (BENEDINI e DONZELLI, 2009). Contudo, os benefícios da manutenção da palhada no aumento do teor de matéria orgânica e na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dependem da qualidade e quantidade de material, das condições edafoclimáticas e também das práticas culturais (WOOD, 1991; CEDDIA et al., 1996; PINHEIRO et al., 1996).

Os menores riscos de erosão, controle de plantas daninhas, diminuição de perdas de água por evaporação e maior atividade biológica no solo são fatores que colaboram para os resultados positivos em produtividade. Logo, a cana colhida crua, além dos inegáveis benefícios ecológicos, traz também resultados positivos na produtividade da cana, e a interação entre atributos químicos (fertilidade), físicos (disponibilidade de água, compactação etc.) e biológicos (atividade microbiana) do solo são a razão do sucesso da colheita da cana crua (BENEDINI e DONZELLI, 2009).

2.3 Atributos Químicos do Solo

As propriedades químicas dos solos são alteradas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, em virtude da adição de corretivos e fertilizantes, e de operações agrícolas. Estas alterações dependem de fatores como: a cultura implantada e o manejo utilizado; a classe e a fertilidade inicial do solo; o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (SANCHES, 1998).

Os tabuleiros costeiros, com superfícies aplainadas, se destacam como uma importante área canavieira, onde os sistemas de produção com cultivo contínuo das terras; preparo excessivo do solo; elevado tráfego de máquinas e queima da palhada, previamente à colheita, podem causar degradação dos solos e reduzir sua produtividade (MAIA e RIBEIRO, 2004).

Estudos de Silva et al. (2007) em Latossolo coeso na região dos tabuleiros costeiros de Alagoas (Brasil) cultivado com cana-de-açúcar há mais de vinte e cinco anos, não mostraram decréscimos no teor de matéria orgânica quando comparado com solo de mata nativa. Já o cultivo por apenas dois anos, mostrou decréscimo da matéria orgânica e da estabilidade dos agregados indicando que a agricultura promove distúrbios ao solo, principalmente nas fases iniciais de sua implantação.

Existem fortes ligações entre o teor de matéria orgânica e a vida biológica do solo, importantes para a sustentabilidade do sistema. Recentes estudos indicam que a quantidade - vale lembrar que as gramíneas apresentam sistema radicular extenso e em constante renovação, o que melhora a estrutura do solo e promove a deposição de grande quantidade de resíduos orgânicos (SILVA et al., 2008) - e a qualidade da matéria orgânica que retorna ao sistema solo podem representar importantes fatores para os sistemas no futuro. BELL et al. (2007) relatam a importância da manutenção da matéria orgânica para a “vida do solo”, identificando linhas de manejo mais indicadas.

Avaliando a presença de minhocas em diversos manejos e culturas na região tropical em KwaZulu Natal, África do Sul, Dlamini e Haynes (2004) verificaram mais minhocas na pastagem (kikuyu) que na floresta nativa, e que cana colhida crua, apresentava mais minhocas que a queimada. Sendo a cana queimada o tratamento com o menor número de minhocas nesse estudo que envolveu 11 situações diferentes de culturas e/ou manejo. O número e a massa de minhocas foram positivamente correlacionados com o C solúvel; C ligado à biomassa microbiana e ao pH do solo. Foram encontradas 11 espécies diferentes de minhocas nos diversos cultivos, mas a cana-de-açúcar suportou apenas duas ou três espécies.

Skjemstad et al. (1999) compararam amostras de solos de locais virgens com amostras de solo onde o cultivo da cana-de-açúcar havia sido recém implantado, e também de locais onde a cana estava sendo cultivada há muitos anos, com queima da palhada. Houve pouca alteração no C total do solo e na fração lábil. Os autores concluíram que o cultivo da cana promove aumento da humificação da matéria orgânica quanto maior é seu tempo de cultivo. Evidências deste fato foram obtidas na redistribuição do carbono orgânico no perfil do solo cultivado com cana. Áreas em que a cana é cultivada há muito tempo apresentam solos com menores teores de C orgânico na superfície, que se elevam nas camadas do subsolo, quando comparados às áreas recém implantadas.

Avaliando as mudanças no solo em diferentes manejos, após 6 a 9 anos de implantação, Noble et al. (2003) compararam atributos do solo em locais com cana colhida sem queima, e queimada. Também compararam diferentes coberturas do solo que, além da cana cultivada por longo tempo, foram uma área de pastagem (gramínea) e uma área em pousio. Perceberam, então, que o carbono orgânico aumentou $4t\ ha^{-1}$ nos tratamentos sem queima da palhada, quando comparados ao tratamento com queima, após um período de 9 anos. Tanto na área com cobertura de palhada, quanto na de pastagem o pH do solo diminuiu com o aumento da saturação por Al e houve decréscimo da saturação por bases (CTC).

Embora no caso da cana esta acidez possa ser devida à decomposição da palhada, tanto a acidez quanto a diminuição de bases podem ser revertidos com manejo, como a calagem.

Ainda, Noble et al. (2003) informam que os teores de cátions trocáveis sofreram variações apenas na camada superficial, até 10 cm, indicando que a influência da palhada da cana e da cobertura com pastagem ocorre apenas superficialmente. Em torno de 9 a 31% dos cátions não estavam retidos pela CTC, indicando potencial de perda desses no solo. Neste trabalho, as análises de C orgânico oxidável por permanganato de potássio (carbono lábil) tiveram correlação linear com o C orgânico total em todas as situações, indicando que as proporções dos diferentes grupos funcionais da matéria orgânica, não foram afetados pela queima, pelo cultivo contínuo de cana ou pela pastagem.

2.4 Fauna Edáfica

O monocultivo impõe diversos impactos ambientais empobrecendo a biodiversidade e afetando drasticamente flora e fauna locais e regionais. Aliado à falta de uma política de organização da atividade agrícola o monocultivo impôs à cana-de-açúcar, a ocupação de muitas terras de pastagens inapropriadas para outras culturas, mas também a ocupação de solos férteis em regiões de topografia plana, próximos de grandes centros urbanizados, aptos para o cultivo de alimentícias. Poucas inovações visaram minimizar o impacto do monocultivo. Destaque deve ser dado à implantação de áreas de produção orgânica aliadas a reflorestamentos, a manutenção de áreas de proteção ambiental, matas ciliares, não aplicação de defensivos químicos e ausência da queimada (ROSSETTO et al., 2009).

É consenso entre os ambientalistas que a palha constitui dentro do sistema cana-de-açúcar parte do processo de produção interferindo diretamente na manutenção das propriedades químicas, físicas, biológicas e ecológicas do solo e da cultura. A retirada pela queima ou qualquer outro meio, tem reflexo a curto, médio e longo prazo sobre a cultura. Hoje, o mais forte argumento apresentado por esta vertente na discussão é que os rendimentos, em toneladas ha⁻¹ na maioria das áreas onde a cana é cultivada e cortada com auxílio da queima, decresce ano após ano. Do ponto de vista biológico, a palhada queimada e não incorporada, deixa de oferecer proteção ao solo, causando provavelmente sérios danos a biota (PINHEIRO, 1996).

A fauna do solo é afetada por fatores como qualidade da matéria orgânica, pH, temperatura, umidade, textura, cobertura vegetal, bem como práticas agrícolas que promovem alteração na abundância de organismos e diversidade de espécies (SOCARRÁS, 1998).

Corroborando a informação acima temos que a utilização do solo para as atividades agrícolas influencia suas propriedades químicas, físicas e biológicas resultando em seleção dos organismos alterando, portanto, a abundância e diversidade dos mesmos (ROSSI et al., 2009). Por exemplo, a comunidade de minhocas cai significativamente após aração (STORK e EGGLETON, 1992). A sensibilidade ao manejo e às condições do ambiente do solo torna estes organismos bons indicadores biológicos de qualidade do solo (ROSSI et al., 2009).

Os fatores que afetam as densidades das populações de formigas são pouco conhecidos. Um deles, o fogo, sabidamente causa impacto a curto e longo prazo no ecossistema (ARAÚJO et al., 2003). A severidade dos danos dependerá da sua intensidade, duração, tipo e arranjo do material combustível, tipo e grau de oxidação, condições climáticas, topografia, umidade e textura do solo, conteúdo de matéria orgânica e tempo desde a última queimada (CURRY, 1994; NEARY et al., 1999). Em longo prazo, os efeitos do fogo implicam em alteração das condições ambientais e de abrigos, bem como na qualidade do alimento (MAJER, 1984; COLLETT, 1998).

O fogo promove imediata redução da população de Insecta, exceto formigas e alguns grupos que vivem abaixo da superfície do solo. Ao que se sabe, os formicídeos são menos afetados em razão da sua capacidade de construir ninhos protegidos do intenso calor e da sua

organização social que os adapta ao rápido restabelecimento da atividade forrageadora em áreas queimadas (KOZLOWSKI e AHLGREN, 1974; GREENSLADE e MOTT, 1978; NAVES, 1996). Sendo assim, colônias de *Atta bisphaerica*, vulgarmente conhecida como saúva-mata-pasto, praga importante e exclusiva de gramíneas no Brasil, quando localizadas em plantios de cana-de-açúcar, podem estar sujeitas aos efeitos de queimas regulares da palhada (ARAÚJO et al., 2004).

As transformações dos resíduos vegetais que chegam ao solo, e sua decomposição até formas inorgânicas são resultantes da atividade de animais e microrganismos deste ecossistema. Neste processo, a fauna do solo, que é constituída por animais que, tradicionalmente, foram classificados com base nas dimensões corporais em micro, meso e macrofauna tem um papel fundamental atuando como catalisador, já que através da fragmentação provocam o aumento de superfície específica do material orgânico favorecendo o ataque por microrganismos (PINHEIRO, 1996).

Fatos relacionados à degradação da matéria orgânica por práticas inadequadas indicam frequentemente, depauperação da fauna de solos. De maneira inversa, certas práticas de manejo para conservação da matéria orgânica deveriam favorecer uma comunidade edáfica abundante e diversificada. A fauna do solo apresenta variadas estratégias ecológicas (PINHEIRO, 2006). Sua presença altera a estrutura física e química do solo (Tabela 1) e a taxa e amplitude em que os processos ocorrem no solo (STORK e EGGLETON, 1992; KLADIVKO, 2001; BARROS et al., 2004).

Tabela 1. Atividade da fauna do solo no processo de decomposição e na estrutura do solo (adaptado de Hendrix et al., 1990).

Categoria	Ciclagem de Nutrientes	Estrutura do Solo
Microfauna	<ul style="list-style-type: none"> - Regulam as populações de bactérias e fungos - Alteram a ciclagem de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> - Podem afetar a estrutura do solo através de interações com a microflora
Mesofauna	<ul style="list-style-type: none"> - Regulam as populações de fungos e da microfauna - Alteram a ciclagem de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> - Produzem pelotas fecais - Criam bioporos - Promovem a humificação
Macrofauna	<ul style="list-style-type: none"> - Fragmentam detritos vegetais e animais - Regulam as populações de fungos e da microfauna - Estimulam a atividade microbiana 	<ul style="list-style-type: none"> - Modificam a estrutura do solo através da escavação - Misturam partículas orgânicas e minerais - Redistribuem a matéria orgânica e microrganismos - Produzem pelotas fecais - Promovem a humificação

Fonte: CORREIA e OLIVEIRA (2000)

A palhada da cana-de-açúcar é expressiva por apresentar um maior conteúdo de materiais facilmente degradáveis, o que resulta em um teor nutricional elevado para os organismos decompositores. A fauna, em interação com microrganismos, atua na decomposição do material vegetal que chega ao solo; formação de húmus, desempenhando importante papel na produtividade vegetal. O acúmulo da palhada como fonte de matéria orgânica, resultante da colheita de cana crua, representaria um aporte orgânico similar aos aportes epígeos dos ecossistemas naturais. No caso particular da palhada da cana colhida crua,

por tratar-se de biomassa verde e em grande quantidade, adiciona-se aos aspectos favoráveis de sua manutenção a importância deste tipo de manejo no ciclo de nutrientes. Deste modo, o estudo da fauna assume grande importância no processo de produção das plantas cultivadas, devido ao papel fundamental que ocupa no subsistema decompositor (PINHEIRO, 1996).

Dentre os organismos do solo, a macrofauna desempenha um importante papel no desenvolvimento da fertilidade (ASSAD, 1997a). Os componentes da macrofauna têm o corpo em tamanho suficiente para romper as estruturas dos horizontes minerais e orgânicos do solo ao se alimentar, movimentar e construir galerias no solo (GIRACCA et al., 2002). Logo, esses macroinvertebrados modificam o ambiente por meio de mecanismos como: movimentação de material sobre o solo e dentro dele; enterrio ativo de restos vegetais depositados na superfície do solo; movimentação de quantidades variáveis de partículas de diferentes tamanhos; construção de montículos, cavidades e ninhos; ingestão, digestão e excreção de restos orgânicos e de partículas minerais; participação nos ciclos biogeoquímicos tornando disponíveis vários elementos, e contribuição para o desenvolvimento estrutural do solo (ASSAD, 1997a).

Pela impossibilidade de se avaliar uma comunidade na íntegra o que se faz é retratar parcelas desta comunidade escolhendo determinados grupos taxonômicos, grupos associados a frações do habitat ou grupos que tenham uma função semelhante no ecossistema. São comuns trabalhos sobre as comunidades de colêmbolos, ácaros, minhocas, diplópodes etc. Outro tipo de retrato da comunidade é o que envolve a determinação da composição de organismos em nível de grandes grupos taxonômicos em uma determinada fração do habitat. Estudos relativos à composição das comunidades de invertebrados de solo, em nível de classe ou ordem, encontram-se nesta categoria (DANGERFIELD e TELFORD, 1992). Qualquer que seja a abordagem de estudo da comunidade é necessário utilizar duas ferramentas básicas: a abundância e a diversidade de espécies ou grupos presentes. Por abundância entende-se qualquer medida de tamanho de uma determinada espécie ou grupo presente, como biomassa ou quantidade. Tais medidas devem obrigatoriamente estar associadas a alguma unidade de espaço que pode ser área ou volume (MERLIM, 2005).

Ao se optar por uma medida de abundância em particular, biomassa ou densidade, deve-se ter em mente que qualquer das duas medidas fornece uma visão parcial da presença dos organismos na comunidade. O fato de que animais maiores são menos numerosos do que os menores (COLINVAUX, 1986) limita o uso da biomassa ou da densidade, isoladamente, como determinantes da função que desempenham os diferentes grupos da fauna de solo. Animais como as minhocas geralmente possuem uma grande biomassa, enquanto animais pequenos como os ácaros apresentam uma excepcional densidade, porém com uma biomassa menor quando comparados com animais maiores. Ambos os grupos são relevantes no ambiente do solo. Essa discrepância é resolvida de forma eficiente ao se comparar as modificações na biomassa ou na densidade em comunidades submetidas a diferentes condições abióticas ou sistemas de manejo (MERLIM, 2005).

A diversidade de espécies envolve o número de espécies (riqueza) e a distribuição do número de indivíduos entre as espécies (equitabilidade). Definição esta explicitada nos índices de diversidade, que conjugam estes dois parâmetros (ODUM, 1988; COLINVAUX, 1986). No entanto, em um sentido mais amplo a própria riqueza de espécies pode ser utilizada como uma medida geral da diversidade (CONNELL, 1978). Uma vantagem do uso da riqueza de espécies é que ela fornece uma ampla medida da complexidade das comunidades e talvez da sua resiliência (MERLIM, 2005).

Para Pinheiro (1996) e Merlim (2005), analisar a diversidade e estimar a importância de determinados grupos funcionais talvez seja a abordagem que mais contribua para a compreensão da capacidade reguladora da fauna edáfica nos ecossistemas, especialmente suas

inter-relações com o processo de decomposição, e das consequências esperadas a partir da exclusão de um ou mais grupos.

Para Merlim (2005), apesar de haver um considerável número de trabalhos a respeito das funções da fauna de solo, bem como das respostas a interferências antrópicas, estes se concentram em determinadas regiões, particularmente nas de clima temperado. O número de trabalhos em regiões tropicais, apesar de crescente, está muito aquém do necessário. No Brasil, o número é irrelevante frente à diversidade de ecossistemas do país e ao desconhecimento da própria biodiversidade do solo. É possível que muitas espécies sejam extintas sem antes serem conhecidas. Como o uso da organização de comunidades como indicador se baseia em comparações, é de fundamental importância a criação de bancos de dados e o estabelecimento de padrões e categorizações que qualifiquem a interferência antrópica em um sistema.

Lavelle (1994) ao discutir o tema fauna do solo diz que esta pode ser manipulada para melhorar propriedades físicas do solo e regular os processos de decomposição da matéria orgânica. Portanto se pode afirmar que os invertebrados não são habitantes passivos do solo, mas seus constituintes ativos e integrais (STORK e EGGLETON, 1992).

Então visando obter acréscimos na produção de forma eficiente é necessário, e no mínimo racional que se maneje o solo para incrementar ou favorecer a fauna edáfica de forma que ela melhore o ambiente do solo para um bom desenvolvimento e, conseqüentemente, maior produtividade das culturas.

2.5 Produtividade

A produtividade e a qualidade tecnológica resultam da integração das diferentes condições ambientais (GILBERT et al., 2006); fatores genéticos; fertilidade do solo (TAVARES, 2007) e manejo empregado à cultura (GILBERT et al., 2006); pragas e doenças (TAVARES, 2007). Tais parâmetros afetam a fisiologia da cultura em relação ao metabolismo de crescimento e desenvolvimento dos colmos, florescimento, maturação e produtividade (LEITE, 2007). O relevo, a geologia e geomorfologia influenciam as características pedológicas implicando diretamente sobre o manejo da cultura, ao se considerar a fertilidade do solo e todos os aspectos a ela relacionados (MELO et al., 1999). Nesse sentido, a adequação das práticas culturais ao sistema solo-planta-atmosfera são fundamentais para os ganhos em produtividade na área agrícola (CAVALCANTE, 2008). No caso da cana, buscam-se o aumento da produção de colmos por unidade de área, aumento do teor de sacarose nos colmos e maior longevidade do canavial (GOMES, 2003).

A cana-de-açúcar apresenta grande adaptabilidade sendo cultivada em solos arenosos, que possuem limitações como: baixa capacidade de armazenamento de água e alta taxa de perda de nutrientes por lixiviação; e em solos argilosos, que podem apresentar drenagem mais lenta e, conseqüentemente, menor aeração da zona radicular; e alta susceptibilidade à compactação, que é limitante à penetração das raízes (KOFLER e DONZELI, 1987). As condições desfavoráveis do solo, que restringem o desenvolvimento de raízes constituem a razão mais comum pela qual as cultivares não expressam todo o seu potencial genético de produtividade.

Diversas pesquisas mostram a influência de atributos químicos do solo no desenvolvimento radicular das plantas (LEITE, 2007). A acidez dos solos, acompanhada de teores de alumínio elevados e/ou teores de cálcio baixos, afeta o desenvolvimento radicular e o crescimento de plantas (ROSOLEM e COSTA, 2000) e, em conseqüência, a produtividade. A redução no desenvolvimento do sistema radicular conduz a diminuição significativa na absorção de água e nutrientes de camadas subsuperficiais do solo (RAMOS, 2006).

A cana-de-açúcar é uma planta semi-perene, com desenvolvimento radicular muito dependente das condições físico-hídricas, químicas e morfológicas das camadas superficial e

subsuperficial do solo. Sua produtividade pode decrescer quando ocorre deficiência hídrica, principalmente entre o quinto e o sexto mês do ciclo de desenvolvimento, quando a demanda por água é maior (LEITE, 2007).

Limitações ao desenvolvimento da cana-de-açúcar são encontradas na deficiência hídrica e nutricional aliada a temperaturas extremas e baixa radiação solar (BRAY, 1980). A instabilidade das precipitações quer seja o déficit quer seja o excesso compromete a produção (RAMOS, 2006). Além da distribuição das chuvas, a disponibilidade de água é regida pela capacidade de armazenamento de água no solo, que é condicionada pela retenção e drenagem, variando conforme a porosidade do mesmo (MAULE et al., 2001).

O efeito do déficit hídrico sobre a produtividade da cana-de-açúcar varia durante o ciclo da cultura, sendo necessário de 1.500 a 2.500 mm de água e uma temperatura mínima de 20°C durante o período de crescimento, adaptando-se melhor com uma média diária entre 22 e 30°C (DOORENBOS e KASSAM, 1979). Seus efeitos nas plantas incluem redução nas taxas de assimilação de CO₂, tamanho das células foliares, taxa de transpiração, potencial de água na planta, taxa de crescimento e abertura estomática (HISÃO, 1973). Além de interferir no florescimento, as relações hídricas desempenham um papel na alongação dos perfilhos e altura final dos colmos em cana-de-açúcar (CHANG et al., 1968; GASCHO e SHIH, 1983), sendo os tecidos de alongamento e meristemáticos encontrados em maior grau nos internódios em expansão, os mais severamente afetados (HARTT, 1967).

Carlucci e Ramos (1989), citados por Ramos (2006), ao testarem a deficiência de água no solo após a indução floral, observaram que o peso dos colmos foi mais afetado nos terços médio e superior, principalmente quando a restrição hídrica ocorreu durante a iniciação floral. Houve ainda, diminuição na pol, brix e pureza do caldo extraído, assim como no açúcar teórico recuperável, porém essa tendência foi marcante quando a falta de água ocorreu durante a iniciação floral. Em resumo, a deficiência de água no solo após a indução floral é uma prática não recomendável na produção comercial da cana, pelas reduções que traz ao seu crescimento e produção de açúcar.

Os colmos da cana-de-açúcar são constituídos por sólidos insolúveis em água (fibras) e por caldo contendo água e sólidos solúveis totais, os quais correspondem aos açúcares e não-açúcares, denominados de °Brix ou Teor de Sacarose (FRANCO, 2008).

O acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar é condicionado por condições restritivas ao crescimento (CESAR et al., 1987). Para tanto, a precipitação hídrica exerce fundamental importância nesse processo, quer seja através de estresse que possibilita aumento nos valores do brix, quer pelo excesso de água no solo que diminui a concentração de açúcares totais (MAULE et al., 2001). Outro fator que exerce influência sobre o teor de sacarose em cana-de-açúcar é a adubação. A cultura apresenta alta demanda por nitrogênio e potássio e uma pequena quantidade de fósforo (DOORENBOS e KASSAM, 1979). ESPIRONELO et al. (1987), constataram que aplicações de doses elevadas de nitrogênio e, principalmente, de potássio, ocasionaram decréscimos nos teores de sacarose, sendo a quantidade de fertilizantes necessária para obtenção da máxima produção de sacarose menor que a exigida para a produtividade dos colmos.

Segundo Orlando Filho (1983), o nitrogênio é primordial para a formação da cultura, ou seja, o estágio que inicia após a germinação e termina com o fechamento do canavial, o que ocorre em torno de 3 a 5 meses. Nessa época se dá a formação dos perfilhos sendo necessária a disponibilidade de nitrogênio no solo. A partir do fechamento do canavial, a cultura entra num período de crescimento acelerado, uma vez que haja boas condições de temperatura e umidade. Se o nível de nitrogênio no solo e na cultura, durante o estágio de formação, é baixo o número de perfilhos que participará do crescimento acelerado também será. Posteriormente, mesmo que haja formação de outros perfilhos, estes não terão condições de serem aproveitados para a moagem na época da colheita.

O fósforo é o nutriente que as plantas requerem em menor quantidade. Porém, este nutriente participa de inúmeros processos metabólicos, como: armazenamento e fornecimento de energia, desdobramento de açúcares na respiração, fotossíntese, divisão e crescimento celular, dentre outros, sendo importante na fase de floração das plantas (ORLANDO FILHO, 1985 citado por RAMOS, 2006).

A adubação fosfatada para a cana-de-açúcar é reconhecida como uma eficaz prática para elevação da produtividade dos canaviais, principalmente nos solos brasileiros que, geralmente, são pobres nesse nutriente. A adubação fosfatada no plantio é importante por representar a única ocasião em que o fósforo pode ser colocado em profundidade e próximo às raízes (RAMOS, 2006). Por essa razão, e pelo efeito residual existente, Albuquerque e Marinho (1984) informam que a resposta na produtividade é maior na cana-planta e, quanto maior a quantidade de fósforo aplicado no plantio, menor a possibilidade de resposta de adubação em cobertura nas soqueiras.

O potássio, segundo Aquino et al., (1993), estimula a vegetação, o perfilhamento; aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda na fixação do nitrogênio; regula a utilização da água e aumenta a resistência à seca, geada e moléstias.

Pode se concluir que a água e a adubação potássica são fatores de produção limitantes aos rendimentos e, o controle da irrigação e do fertilizante é imprescindível para o êxito da cultura (RAMOS, 2006).

3 CAPÍTULO I

HISTÓRICO DOS EXPERIMENTOS NA USINA LASA (PROJETO CANA CRUA / CANA QUEIMADA)

3.1 RESUMO

Para provar a importância da matéria orgânica na manutenção da fertilidade do solo e, conseqüentemente, na produção desse experimento, na Usina LASA, foi montado. No início apenas a presença ou a ausência do fogo eram analisadas. Com o passar dos anos novas variáveis foram incluídas, tais como formas de renovação ou preparo do solo. O objetivo do capítulo foi o de consolidar as informações sobre a fertilidade do solo e a fauna edáfica obtidas até o momento. O experimento foi instalado em maio de 1989. A cada ano os rendimentos da cultura são acompanhados e, com o desenvolvimento de pesquisas de mestrado ou doutorado foram avaliadas as características químicas, físicas, físico-químicas e biológicas. A compilação dos estudos revelou que a palhada influenciou positivamente, na superfície do solo, os valores de carbono orgânico, pH, Mg, Ca, valor S, valor V e CTC (valor T); a queima da cana, pela adição de cinzas, elevou os teores de K e P em superfície, e de Ca e Mg em profundidade. Quanto a fauna do solo, o tratamento cana crua apresentou superioridade de indivíduos para população de minhocas em duas épocas, e para mesofauna na profundidade de 0-5 cm; já o tratamento com queima permitiu um maior número de indivíduos na camada de 5-10 cm. Em ambos os tratamentos, houve participação dos mesmos grupos funcionais embora, para a cana queimada, a presença de micrófagos que vivem em profundidade se aproveitando da matéria orgânica ofertada pelo sistema radicular tenha sido maior e, para a cana crua houve maior presença de larvas (saprófagos).

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Experimento de longa duração. Sistemas de colheita.

3.2 ABSTRACT

To prove the importance of organic matter in maintaining soil fertility and, consequently, cane production it was assembled an experiment in the Usina LASA. At first only the usage or not fire was analyzed. Over the years, new variables were included, as crop renewal forms or soil tillage. The aim of the chapter was to consolidate information about soil fertility and soil fauna already obtained. The experiment was installed in May 1989. Each year the culture yields were accompanied and, though Master or Doctorate research studies, there were evaluated chemical, physical, and biological characteristics. The compilation of studies showed that stubble positively influenced, on soil surface, the values of organic carbon, pH, Mg, Ca, S value, V value, and CTC (T value); the burning of the cane, adding ash, increased K and P levels on surface, and Ca and Mg in depth. Regarding soil fauna, cane treatment without burning showed superiority of earthworm population in two seasons, and soil mesofauna at 0-5 cm depth; otherwise the treatment with burnt cane allowed for a greater number of individuals in the 5-10 cm layer. In both treatments, the same functional groups were observed, but for burnt sugar cane, the presence of microphagous, which live at a lower soil depth and take advantage of the organic matter supplied by the root system, was greater. The green cane showed greatest presence of larvae (saprophages).

Key words: Sugar cane. Long-term experiment. Harvesting systems

3.3 INTRODUÇÃO

O Projeto Cana Crua / Cana Queimada foi iniciado em 28/05/1989 com a montagem do primeiro de muitos experimentos pelo Dr. Eduardo Lima e equipe. Trata-se de um dos mais antigos ensaios para avaliação dos efeitos dos sistemas de colheita da cana-de-açúcar do país. É localizado no município de Linhares – ES, situado entre os paralelos 19° 06' e 19° 18' Sul e os meridianos 39° 45' e 40° 19' Oeste, na zona estratigráfica Baixo Rio Doce.

O solo na área onde foi instalado o projeto é pobre em nutrientes e tem como material de origem sedimentos relacionados à Formação Barreiras, além de textura arenosa. Assim, foi inferido que as altas produtividades de cana-de-açúcar nessa área se devem não só ao preparo do solo para o plantio e/ou soca (adição de fertilizantes), mas a presença de matéria orgânica oriunda das coberturas vegetais anteriores. Logo, o ensaio surgiu da necessidade de mostrar para o proprietário da área (Usina Linhares Agroindustrial S/A, LASA) que, mesmo com altas produções, a prática da queima deteriorava a qualidade química do solo, uma vez que a fertilidade do solo era sustentada pelo estoque de matéria orgânica (MO) existente.

A cana-de-açúcar é considerada conservacionista pelo fato de seu sistema radicular fasciculado – que sofre renovação anual – permanecer no solo após a colheita aportando quantidades significativas de matéria orgânica. Com a queima o estoque é afetado e, associado ao modelo de cultivo adotado - que não previa utilização de práticas de reposição - traria consequências desastrosas para a usina, isto é, caso não fossem tomadas providências haveria perda de produtividade e, conseqüentemente, econômicas.

A LASA cedeu uma das quadras de produção comercial para executar o experimento, que buscou evidências de que naquele tipo de solo não era necessário preparo tão vigoroso – mediante aração e gradagem da área - para o plantio (funcionalidade dos novos sistemas de colheita e preparo do solo adotado – cultivo mínimo), e que a queima antes da colheita da cultura era dispensável; bem como da importância do monitoramento da área.

O objetivo era, momentaneamente, conservar a matéria orgânica, mas também mostrou os ganhos com a não queima. O principal problema para a idéia foi à viabilidade econômica, afinal não se conhecia a possibilidade de colheita mecânica para cana crua, e achavam ainda que a colheita manual fosse prejudicada sem a prévia desfolha.

Assim, nos primeiros cinco anos do experimento foi feita a avaliação econômica pelo corte manual, onde os trabalhadores entravam na área e eram medidos tempo e quantidade cortada comparando-se as áreas com e sem queima. Após 10 anos a usina se convenceu de que não haveria perdas financeiras e sim benefícios pela economia em atividades de manejo e aplicação de insumos agrícolas.

Com o passar do tempo, quando da renovação da área, o experimento foi dividido, sendo mais tarde identificado a campo como Experimento 1, onde foram implantadas parcelas com diferentes formas de renovação do canavial. Alguns “talhões” continuaram sofrendo queima e outros não, enquanto os demais começaram a sofrer rotação crua-queimada, queimada-crua a cada renovação. A outra metade do experimento, identificado posteriormente como Experimento 2, manteve as características iniciais.

A partir daí a motivação foi a de demonstrar que um preparo intenso da área (aração, gradagem) era desnecessário. Assim, em outra renovação foi subdividida a área experimental e implantados, além dos tratamentos já existentes (CC e CQ), as fontes de variação cultivo mínimo (CM) e plantio convencional (PC), configurando dois experimentos específicos. O primeiro apenas com o CM e as formas de renovação do canavial, e o segundo com parcelas de PC e CM. Cabe ressaltar que desde a implantação a cana no experimento é colhida manualmente, logo sem influência de maquinário em nenhuma das variáveis avaliadas.

Por tratar-se de experimento de longa duração é necessário reunir e considerar os resultados já obtidos, para entendimento das modificações ocorridas até então.

Para isso é preciso recorrer a informações previamente trabalhadas e publicadas, ou seja, estruturar uma revisão que, segundo Sampaio e Mancini (2007), deve ser metódica; explícita; passível de reprodução; e guiar o desenvolvimento de projetos por indicar novos caminhos para investigações futuras identificando metodologias de uso comum.

Requer, para isso, clareza de objetivos (perguntas certas; definição de estratégia de busca; estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de artigos; e análise criteriosa da qualidade do material selecionado). Inclui ainda a caracterização de cada estudo; identificação de conceitos importantes; e conclusão sobre as informações relativas à determinada intervenção, evidenciando também situações que necessitem de novos estudos. Praticamente, o trabalho de revisão segue a estrutura de artigo original, sendo um recurso importante frente ao acelerado crescimento da informação científica. Destaca-se que é um estudo retrospectivo e secundário, isto é, a revisão é comumente desenhada e conduzida após a publicação de muitos estudos experimentais sobre o tema, dependendo assim da qualidade da fonte primária (SAMPAIO e MANCINI, 2007).

Assim, o objetivo deste capítulo foi, através da organização do histórico dos experimentos no que diz respeito aos estudos de fertilidade e fauna do solo, consolidar informações referentes aos 20 anos do Projeto Cana Crua/Cana Queimada na Usina LASA, Linhares (ES).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Para este capítulo, que apresenta a compilação do histórico da área, foi feita revisão bibliográfica abordando textos que tratavam especificamente de experimentos conduzidos, através do Projeto Cana Crua / Cana Queimada do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, nas áreas de produção de cana-de-açúcar da Usina Linhares Agroindustrial S/A (LASA), em Linhares (ES). Foram considerados apenas os trabalhos que contemplavam atributos químicos e fauna do solo. Assim, foram selecionadas as dissertações, teses, artigos e trabalhos apresentados em congressos que serviram de base para esta revisão.

Em relação aos métodos analíticos adotados temos as seguintes informações:

- **MENDOZA (1996):** As coletas de solo ocorreram após a colheita da quarta soca (entre setembro e outubro de 1994) e antes da adubação. Foram coletadas amostras compostas de cada parcela nas profundidades de: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-60 cm, nas entrelinhas da cultura, com trado tipo holandês, que foram submetidas à análise química de acordo com a metodologia descrita por Embrapa/SNLCS (1979). Todas as determinações foram feitas em terra fina seca ao ar (TFSA).
- **CEDDIA (1996):** Em 1994 e 1995, após cinco ciclos de cultivo, na colheita, foram feitas amostragens nas entrelinhas da cana para avaliação da biota do solo (minhocas), onde, em cada faixa, realizou-se 3 amostragens em subáreas de 0,25×0,25×0,20 m (0,0125 m³) a 10, 20 e 30 metros de distância da cabeceira das faixas (esquema no Anexo 2). As amostras distavam entre si em aproximadamente 3,0 metros, dispondo-se no formato diagonal dentro de cada faixa. Nestas amostras se avaliou o número de minhocas, com posterior classificação taxonômica em nível de família. A contagem dos animais foi feita manualmente e a atividade da população foi estimada através do peso seco dos coprólitos, depositados à superfície do solo, coletados em retângulos de 0,5m² de área. Além do peso total dos coprólitos, no laboratório, fez-se classificação destes segundo classes de diâmetro, usando-se jogo de tamizes de 4, 2 e 1 mm.
- **SILVA (2000):** Foram coletadas amostras compostas de solo nas entrelinhas de cada parcela nas profundidades de: 0-5, 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm, por ocasião da colheita da primeira soqueira (14/09/99), com o auxílio de trado tipo holandês, as quais foram submetidas à análise química de acordo com a metodologia descrita por Embrapa/SNLCS (1979).
- **MARTINHO et al. (2004):** Para avaliação da fauna edáfica foram coletados amostras, na primavera de 2003 (novembro), com o auxílio de uma sonda quadrada metálica de 25 cm de lado. Em cada parcela foram coletadas duas amostras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Posteriormente o material coletado foi acondicionado em extratores Berlese-Tüllgren por 15 dias, sendo os organismos recolhidos em frascos com solução de ácido acetilsalicílico. Os indivíduos coletados foram triados e identificados em grandes grupos taxonômicos, estimando-se o número de indivíduos m² (densidade).
- **PINHEIRO (2007):** Em novembro de 2003 (14^o corte), foram abertas trincheiras de 1,0 x 1,20 x 1,20 m sob cada tratamento. Amostras de terra foram coletadas das quatro paredes de cada trincheira, nas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de Solos e Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia, onde foram secas ao ar, moídas e passadas em peneira de 2,0 mm (TFSA) para posterior execução das análises.

3.5 RESULTADOS

Diversos estudos foram realizados para detectar as alterações promovidas pelo manejo da colheita de cana-de-açúcar sobre a fertilidade e a fauna do solo (Tabela 2). Mas tais informações ainda estão aquém do desejável, uma vez que não há a geração regular de publicações sobre o experimento nem a possibilidade de se avaliar a cada ano todos os parâmetros de interesse, mesmo estando este sob monitoramento constante, principalmente em relação aos parâmetros produtivos. Desse modo, ficam restritos os estudos já que as avaliações de maior proporção coincidem com períodos em que projetos de mestrado e/ou doutorado são realizados nestas áreas de experimentos a longo prazo.

Tabela 2. Estudos sobre as alterações promovidas pela colheita com ou sem queima da cana-de-açúcar em Linhares – ES (LASA).

Autor	Ano	Título	Tratamentos	Atributos Avaliados	
				Químico	Fauna Edáfica
Mendoza et al.*	1996 2000	Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo Propriedades químicas e biológicas de solos de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada	Cana queimada Cana crua	Sim	Não
Ceddia	1996	Efeitos do sistema de corte na produção de cana-de-açúcar e em propriedades físicas de solo de tabuleiro no Espírito Santo	Cana queimada Cana crua	Não	Sim
Silva	2000	Efeitos da renovação do canavial com diferentes sistemas de colheita, sobre as propriedades químicas do solo, crescimento da cultura e acúmulo de N em cana de primeira soca	Cana queimada Cana crua Cana queimada-crua Cana crua-queimada	Sim	Não
Martinho et al.	2004	Mesofauna em Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos	Cana queimada Cana crua	Não	Sim
Pinheiro	2007	Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais	Cana queimada Cana crua	Sim	Não

* Serviram de base apenas as variáveis contextualizadas no artigo escrito por MENDOZA et al.(2000).

Os trabalhos desenvolvidos na área experimental não se referem ao mesmo ciclo de cultivo, alguns, como os de Mendoza (1996), Ceddia (1996) e Martinho et al. (2004), são relativos a apenas um ciclo de cultivo, sendo o último trabalho citado e o de Pinheiro (2007)

os únicos trabalhos após 2000 a guardar relação com os resultados obtidos até 1996 quando estudava-se apenas o efeito da colheita com queima e sem queima; os demais se relacionam a um segundo ciclo de cultivo (pós-renovação). Como este capítulo se refere a um histórico dos experimentos na Usina LASA, nele são reportados dados do período em que o experimento compreendia área total e também do período em que houve, com a renovação, a subdivisão do campo experimental em duas áreas de estudo que são denominadas de experimento I – Renovação do Canavial e experimento II – Preparo do Solo.

Os dados de Silva (2000) retratam a primeira renovação da área experimental, especificamente do experimento I (ocorrida em 1997), enquanto os dados de Pinheiro (2007) se relacionam ao primeiro ciclo de cultivo (1989), já que a renovação do que ficou sendo o experimento II foi realizada em 2005, e as coletas de Pinheiro (2007) se deram em 2003, o mesmo ocorreu com os dados de Martinho et al. (2004).

Cabe ressaltar ainda que, desde 1989 (instalação do experimento), a colheita da cana-de-açúcar é realizada manualmente, sem maquinário, o que poderia influenciar os resultados, dependendo do parâmetro analisado.

3.5.1 Atributos químicos do solo

a) Carbono orgânico:

O efeito do manejo da colheita da cana sobre o conteúdo de carbono orgânico na área de produção comercial de cana-de-açúcar pode ser verificado na Tabela 3 onde se encontram os resultados obtidos e publicados ao longo do tempo.

Tabela 3. Teores de carbono orgânico em função do tratamento e da profundidade no Argissolo Amarelo estudado.

Autor	Prof cm	Carbono Orgânico, g kg ⁻¹			
		C	Q	CQ	QC
Mendoza, 1996	0-10	9,9	7,2	-	-
	10-20	7,8	7,9	-	-
	20-30	5,7	6,4	-	-
et al., 2000	30-40	6,5	8,0	-	-
	40-60	7,9	6,6	-	-
	0-5	9,09	9,21	9,42	7,76
Silva, 2000	5-10	12,22	9,57	10,12	9,57
	10-20	7,04	7,53	4,55	5,38
	20-30	4,97	3,84	4,13	5,87
	30-40	4,98	4,80	6,08	5,15
Pinheiro, 2007 (valores aproximados)	0-5	14,50	9,10	-	-
	5-10	9,70	8,80	-	-
	10-20	7,80	7,70	-	-
	20-30	10,20	7,80	-	-
	30-40	7,60	9,00	-	-
	40-60	7,70	6,30	-	-
	60-80	7,60	5,90	-	-
80-100	5,10	4,80	-	-	

* C – Cana crua Q- Cana queimada CQ – Cana crua-queimada QC - Cana queimada-crua

Segundo Mendoza (1996; et al., 2000), o teor de carbono na profundidade de 0-10 cm foi maior no sistema cana crua (Tabela 3), nas demais profundidades o parâmetro não foi afetado de modo significativo pelos tratamentos. Tal comportamento pode ser atribuído ao maior aporte de matéria orgânica neste sistema no momento da colheita (16,7 Mg ha⁻¹ de

folha + ponta), quantidade esta que é reduzida a praticamente zero quando se efetua a queima do canavial. Ainda, a distribuição do C em profundidade é bastante irregular não havendo diminuição significativa inclusive a 60 cm, como era esperado nesta classe de solo. O que pode ser atribuído à translocação de colóides e tendências de formação de um horizonte de eluviação, ou migração de substâncias húmicas menos polimerizadas no perfil (SASTRIQUES, 1982). O que é reforçado pelo fato de a partir de 30 cm de profundidade ocorrer elevação dos teores de argila.

Por sua vez, Silva (2000), na renovação da área, verificou que os teores de carbono no solo são superiores significativamente na superfície, decrescendo em profundidade (Tabela 3), fato este também observado por Mendoza (1996; et al., 2000). A renovação da área sem queima da palha (QC) promoveu aumento nos teores de carbono na camada de 20-30 cm. Na camada de 10-20 cm os teores de carbono nos tratamentos crua (C) e queimada (Q) foram superiores ao tratamento crua-queimada (CQ). O tratamento queimada-crua foi superior na camada de 20-30 cm, em relação aos tratamentos crua-queimada e queimada-queimada. Pinheiro (2007) evidenciou o efeito do manejo da colheita da cana sobre o conteúdo de carbono orgânico somente na primeira profundidade (0-5 cm) onde, a cana sem queima da palhada foi estatisticamente superior a cana com queima da palhada (Tabela 3). Resultados estes que estão de acordo com os encontrados na literatura, onde o maior aporte de material orgânico no solo e o menor revolvimento deste contribui com maiores quantidades de carbono orgânico no solo (PINHEIRO, 2002).

b) Potencial hidrogeniônico (pH), alumínio trocável e acidez potencial:

Na Tabela 4 encontram-se os valores de pH em H₂O, alumínio trocável e acidez potencial obtidos ao longo da experimentação.

Os valores de pH nos estudos de Mendoza, 1996 não apresentaram variações entre os tratamentos e em profundidade (Tabela 4), logo não foram detectadas diferenças significativas neste parâmetro. Os valores de alumínio trocável (Al) foram inferiores a 0,2 cmol_c dm⁻³ de solo em todas as profundidades (Tabela 4). O que foi justificado pelo autor através dos valores de pH em água que, para ambos os tratamentos, foram superiores a 6,0 levando à redução da atividade relativa da forma fitotóxica do alumínio (WRIGHT, 1989). Não diferiram entre os tratamentos os valores de Al e H+Al, exceto na profundidade de 40-60 cm, diferença atribuída à variação na granulometria do solo devido à distribuição dos horizontes no solo.

Silva (2000) verificou que, independente do tratamento, a profundidade de 0-5 cm foi superior às demais profundidades, para os dados de pH (Tabela 4). Aumento esse atribuído à presença de cinzas ricas em elementos como o potássio, cálcio e magnésio que, por terem reação alcalina, podem diminuir a concentração de hidrogênio no solo (FASSBENDER, 1987). Por outro lado, a manutenção da palhada favorece a formação de ácidos fúlvicos principalmente na camada de 0-5 cm (MENDOZA, 1996) o que diminuiria o pH, uma vez que a presença dos radicais orgânicos poderia influenciar positivamente o pH retirando os íons de hidrogênio da solução do solo (SIDIRAS e PAVAN, 1985). Os teores de alumínio foram inferiores significativamente na camada superficial do solo, esse comportamento condiz com os maiores níveis de pH verificados em superfície (Tabela 4). Apenas a interação de tratamentos queimada-crua não apresentou diferenças em profundidade. Não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 4. Índice de pH e teores de alumínio trocável e acidez potencial em função do tratamento e da profundidade.

Autor	Prof cm	pH				Al				H+Al			
						cmol _c dm ⁻³							
		C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC
Mendoza 1996	0-10	6,4	6,4	-	-	0,03	0,05	-	-	2,4	2,3	-	-
	10-20	6,5	6,5	-	-	0,10	0,10	-	-	2,6	2,7	-	-
	20-30	6,1	6,0	-	-	0,05	0,06	-	-	2,3	2,7	-	-
	30-40	6,2	6,1	-	-	0,12	0,12	-	-	2,9	3,5	-	-
	40-60	6,2	6,1	-	-	0,05	0,19	-	-	3,0	3,7	-	-
Silva 2000	0-5	5,98	6,02	6,02	6,07	0,10	0,07	0,07	0,10	6,03	5,34	5,12	5,59
	5-10	5,67	5,83	5,58	5,92	0,15	0,08	0,22	0,12	6,19	5,53	5,56	5,61
	10-20	5,85	5,55	5,82	5,80	0,23	0,25	0,23	0,22	6,16	5,20	5,89	5,50
	20-30	5,60	5,83	5,78	5,73	0,17	0,27	0,27	0,17	5,92	5,29	5,89	5,58
	30-40	5,68	5,78	5,90	5,65	0,28	0,37	0,25	0,23	5,94	5,59	6,52	5,86
Pinheiro 2007	0-5	5,62	5,70	-	-	0,00	0,10	-	-	-	-	-	-
	5-10	5,38	5,10	-	-	0,24	0,34	-	-	-	-	-	-
	10-20	5,34	4,98	-	-	0,26	0,40	-	-	-	-	-	-
	20-30	5,48	4,92	-	-	0,18	0,40	-	-	-	-	-	-
	30-40	5,64	5,02	-	-	0,18	0,34	-	-	-	-	-	-
	40-60	5,70	5,30	-	-	0,12	0,24	-	-	-	-	-	-
	60-80	5,54	5,22	-	-	0,24	0,24	-	-	-	-	-	-
80-100	5,48	5,94	-	-	0,24	0,44	-	-	-	-	-	-	

* C – Cana crua Q- Cana queimada CQ – Cana crua-queimada QC- Cana queimada-crua

Os valores da acidez potencial do solo (H+Al) foram inferiores na superfície aumentando gradativamente com a profundidade (Tabela 4). O tratamento sem queima foi significativamente superior ao tratamento crua-queimada, na camada de 0-5 cm, e ao tratamento cana queimada na camada de 10-20 cm. O tratamento crua-queimada apresentou aumento significativo em relação ao tratamento cana queimada, na camada de 30-40 cm. O autor creditou o aumento da acidez potencial em superfície, entre os tratamentos, ao surgimento de íons dissociáveis de diferentes fontes, principalmente ácidos orgânicos e fenóis originados da manutenção da palhada e sua decomposição (MELLO et al., 1985). Já em profundidade o incremento nos teores de argila estaria relacionado a esse aumento.

Pinheiro (2007) verificou que, na área experimental, sob os sistemas de colheita da cana sem queima e com queima da palhada, o pH encontrou-se em torno de 5,0 - mas isto é devido ao efeito da calagem aplicada, neutralizando os teores de alumínio e elevando os teores de cálcio e magnésio no solo.

c) Bases trocáveis e soma de bases:

A dinâmica do cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis é mostrada na Tabela 5, onde, para padronização da tabela, uma vez que os dados de Pinheiro (2007) são apresentados como o somatório de cálcio e magnésio, os teores de cálcio e magnésio trocáveis dos demais autores foram convertidos em um dado único pelo somatório, apesar dos resultados serem discutidos isoladamente quando essa possibilidade se apresenta. Sendo assim, os dados originais (isolados) podem ser encontrados no anexo 3.

Tabela 5. Teores de bases trocáveis e soma de bases em função do tratamento e da profundidade.

Autor	Prof cm	Ca+Mg**				Na				K				S			
		----- cmol _c dm ⁻³ -----															
		C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC
Mendoza 1996 et al. 2000	0-10	2,48	1,91	-	-	0,05	0,05	-	-	0,14	0,17	-	-	2,7	2,3	-	-
	10-20	1,67	1,42	-	-	0,05	0,04	-	-	0,12	0,16	-	-	1,8	1,6	-	-
	20-30	1,30	1,15	-	-	0,03	0,03	-	-	0,06	0,1	-	-	1,4	1,3	-	-
	30-40	1,35	1,11	-	-	0,02	0,02	-	-	0,06	0,06	-	-	1,4	1,4	-	-
	40-60	1,58	1,15	-	-	0,02	0,02	-	-	0,05	0,04	-	-	1,7	1,2	-	-
Silva 2000	0-5	2,60	1,78	1,76	2,42	0,40	0,40	0,39	0,41	2,05	1,59	1,91	1,97	5,17	3,83	4,33	4,83
	5-10	2,24	2,43	2,32	1,73	0,32	0,36	0,31	0,34	1,11	0,88	1,02	1,1	3,68	3,68	3,68	3,22
	10-20	1,84	2,25	2,35	1,89	0,29	0,31	0,30	0,29	0,88	0,61	0,80	0,9	3,06	3,20	3,48	3,14
	20-30	2,11	1,94	2,05	2,05	0,31	0,31	0,27	0,34	0,69	0,56	0,61	0,75	3,17	2,82	2,95	3,16
	30-40	2,18	1,78	2,65	1,97	0,30	0,31	0,29	0,33	0,55	0,65	0,65	0,67	3,04	2,93	3,61	2,99
Pinheiro 2007	0-5	3,56	2,08	-	-	-	-	-	-	0,34	0,31	-	-	-	-	-	-
	5-10	1,32	0,92	-	-	-	-	-	-	0,14	0,18	-	-	-	-	-	-
	10-20	0,96	0,84	-	-	-	-	-	-	0,07	0,14	-	-	-	-	-	-
	20-30	1,18	0,84	-	-	-	-	-	-	0,05	0,14	-	-	-	-	-	-
	30-40	1,24	1,00	-	-	-	-	-	-	0,05	0,09	-	-	-	-	-	-
	40-60	1,22	1,18	-	-	-	-	-	-	0,03	0,04	-	-	-	-	-	-
60-80	1,14	1,04	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-	
80-100	0,90	0,68	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	

* C – Cana crua Q - Cana queimada CQ – Cana crua-queimada QC - Cana queimada-crua

** Os teores de cálcio e magnésio obtidos por MENDOZA (1996) e SILVA (2000) podem ser encontrados no Anexo 3.

De acordo com Mendoza (1996; et al., 2000) os teores de magnésio, na profundidade de 0-10 cm, foram maiores no sistema cana crua (Tabela 5). Os teores de Ca apresentaram distribuição homogênea em profundidade, para ambos os tratamentos. Para o potássio foram observados maiores valores no tratamento cana queimada na profundidade de 10-30 cm, reduzindo em profundidade (Tabela 5). O teor de Na não diferiu entre os tratamentos, ou seja, não foi influenciado pelos sistemas de manejo - e decresceu em profundidade, em ambos os sistemas de colheita (Tabela 5). Fato este, justificado pelo solo ser bem drenado, e o sódio ser retido à baixa energia pelos colóides do solo, quando comparada a outros elementos - de acordo com a série liotrópica (RAIJ, 1987), podendo resultar na remoção do sódio do complexo sortivo explicando a ausência de modificações em sua disponibilidade, em ambos os tratamentos. O valor S não diferiu entre os tratamentos, todavia mostrou-se maior para ambos na camada superficial do solo (Tabela 5). Apesar da maior disponibilidade de potássio na camada arável do tratamento cana queimada, este não foi suficiente para promover superioridade na soma de bases trocáveis (Valor S) (Tabela 5), frente ao sistema sem queima, afinal a manutenção da palhada sobre o solo proporcionou diferenças significativas nos teores de cálcio e magnésio considerando os 60 cm amostrados.

Silva (2000) observou que os teores de cálcio no solo foram, de maneira geral, maiores na camada superficial, decrescendo em profundidade (Tabela 5). Apenas a interação de tratamentos crua-queimada apresentou superioridade significativa, na camada de 30-40 cm, em relação ao tratamento queimada-queimada, porém esse aumento foi atribuído pelo autor, à mudança textural do solo. O tratamento queimada-crua não apresentou diferenças entre profundidades. Já os teores de magnésio não apresentaram diferenças em profundidade (Tabela 5). Mas a renovação da área sem queima do palhicho promoveu aumentos significativos em seus teores na camada de 0-5 cm, provavelmente a maior quantidade de matéria orgânica deixada na superfície fornece este nutriente ao longo do ciclo influenciando positivamente os teores. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendoza (1996; et al., 2000), Resende et al. (1998), Manhães (1996) e Orlando Filho et al. (1998). Na área renovada com queima (CQ) os teores de magnésio aumentaram significativamente na camada de 10-20 cm, o que pode ser devido à maior lixiviação proporcionada pela queima ao manter o solo sem cobertura até o fechamento da cultura, além da queima liberar todos os minerais imobilizados na biomassa vegetal rapidamente para o solo.

Silva (2000) ainda encontrou que os teores de sódio foram, significativamente, superiores na superfície não apresentando diferenças entre os tratamentos (Tabela 5), o que foi corroborado por resultados obtidos por Mendoza (1996), porém os valores observados por Silva (2000) são cerca de 10 vezes maiores que os obtidos por Mendoza (1996) para a mesma área de estudo, possivelmente por efeito da adubação realizada na renovação do experimento. Para os teores de potássio, verificou-se decréscimo significativo em profundidade, o que - para o autor - ocorreu pelo fato de ter sido realizada a adubação potássica em cobertura, um mês após a colheita da cultura. O tratamento queimada-crua aumentou significativamente os teores de potássio na camada de 10-20 cm, em relação ao tratamento com queima. Esse tratamento é o que mais favorece a lixiviação por apresentar menor quantidade de material orgânico na camada superficial do solo (MENDOZA, 1996), e por manter o solo descoberto durante todo o período inicial do cultivo até o fechamento do dossel, por essa razão apresentaria menores teores de potássio na camada de 10-20 cm apesar da adição de cinzas com a queimada. Os teores de bases do solo (Valor S), por ele encontrados, mostraram superioridade significativa na superfície decrescendo com a profundidade (Tabela 5). A renovação da área sem queima da palha (QC) elevou os teores de bases na camada de 0-5 cm do solo, esse efeito da manutenção da palhada também foi verificado por Manhães (1996). Os teores desse parâmetro nos tratamentos crua e queimada-crua foram significativamente superiores ao tratamento cana queimada nessa camada. Pode-se notar, portanto, que a

manutenção da palhada favorece o aumento de bases na superfície devido principalmente ao aumento nos teores de magnésio.

Pinheiro (2007), em estudo na mesma área experimental, pode observar que ao longo do perfil, até 100 cm de profundidade, o sistema de manejo de cana sem queima apresentou maiores quantidades dos cátions Ca+Mg em relação ao sistema de manejo cana queimada (Tabela 5). O que se deve, provavelmente, ao fato da deposição da palhada em superfície contribuir na manutenção desses nutrientes no perfil do solo, uma vez que os valores estão próximos aos observados em estudos anteriores.

d) Capacidade de troca de cátions e saturação por bases:

Os valores da capacidade de troca de cátions (Valor T) e a saturação por bases (Valor V) encontrados em diferentes anos para o experimento são mostrados na Tabela 6.

Os valores da capacidade de troca catiônica do solo (CTC ou valor T) obtidos por Mendoza (1996) não diferem estatisticamente entre os tratamentos inclusive em profundidade; a CTC do solo é baixa (Tabela 6). No tratamento sem queima, valores mais elevados ocorreram nos primeiros 10 cm de solo em relação às demais profundidades, exceto na profundidade de 40-60 cm.

Relacionando-se, portanto, com o maior teor de carbono orgânico neste estrato, fato corroborado por Silva (1989) que aponta à matéria orgânica como a fração de maior contribuição na CTC dos horizontes superficiais de Latossolos e Argissolos Amarelos do Nordeste do Pará. Na profundidade de 40-60 cm, o maior valor de T e teor de argila estão relacionados com a presença do topo do horizonte diagnóstico B_t (80g kg⁻¹ na profundidade de 0-20 cm, 100g kg⁻¹ em 20-30 cm e 170g kg⁻¹ a partir de 30 cm), identificado nesta posição em perfis analisados próximos à área do estudo (RAVELLI NETO e LIMA, 1987).

Tabela 6. Valores da capacidade de troca de cátions calculada e de saturação por bases em função do tratamento e da profundidade.

Autor	Prof cm	T				V			
		cmol _c dm ⁻³				%			
		C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC
Mendoza 1996	0-10	5,1	4,7	-	-	52	51	-	-
	10-20	4,4	4,3	-	-	40	37	-	-
	20-30	3,7	3,9	-	-	38	33	-	-
	30-40	4,3	4,8	-	-	33	28	-	-
et al. 2000	40-60	4,7	4,9	-	-	33	25	-	-
	0-5	11,20	9,17	9,44	10,42	48	45	48	49
Silva 2000	5-10	9,87	9,21	9,24	8,83	40	43	42	38
	10-20	9,22	8,40	9,36	8,64	36	41	39	39
	20-30	9,09	8,11	8,84	8,74	38	37	35	38
	30-40	8,98	8,52	10,05	8,85	38	37	38	36
Pinheiro 2007	-	Parâmetros não avaliados							

* C-Cana crua Q-Cana queimada CQ-Cana crua-queimada QC-Cana queimada-crua

O valor V não diferiu estatisticamente entre os tratamentos; todavia, foi maior em ambos na camada superficial do solo (Tabela 6). Para os sistemas de colheita estudados, o fator que mais influenciou as variações das propriedades químicas foi a matéria orgânica, que é adicionada em maior quantidade no sistema sem queima da palhada. Com a transformação

dos compostos orgânicos da palhada em material humificado, aumentam-se a CTC e a disponibilidade de nutrientes no solo, conforme Bayer e Mielniczuk (1999).

Silva (2000) observou que a renovação da área sem queima da palhada (CQ-C) aumentou significativamente o valor T na camada de 0-5 cm (Tabela 6), resultados semelhantes foram verificados por Manhães (1996). O tratamento crua foi significativamente superior aos tratamentos queimada-crua e queimada, na camada de 0-5 cm. Portanto o sistema sem queima favoreceu o valor T em superfície provavelmente devido a maiores teores de ácidos orgânicos no solo (MENDOZA, 1996).

Convém ressaltar que o aumento em profundidade do valor T do solo está relacionado com características intrínsecas do solo (aumento do teor de argila). A saturação por bases (valor V) foi significativamente superior em superfície decrescendo com a profundidade (Tabela 6). Não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Todas as camadas apresentaram valor V abaixo de 50%, o que reflete característica dos solos de tabuleiro de possuírem baixa capacidade de troca de cátions (OLIVEIRA et al., 1992), tendo, portanto o C orgânico uma grande contribuição na manutenção de cátions no sistema.

e) Fósforo disponível:

O solo estudado é naturalmente deficiente em fósforo disponível; os resultados obtidos para o experimento de longo prazo encontram-se organizados na Tabela 7.

Similarmente ao acúmulo de potássio, Mendoza (1996, et al., 2000) detectou incremento nos teores de fósforo assimilável no tratamento com queima até a profundidade de 60 cm (Tabela 7). A maior diferença foi observada na profundidade de 0-10 cm, provavelmente, em decorrência do acúmulo superficial das cinzas que contribuem com elevadas quantidades desses elementos, afinal fertilizantes fosfatados não foram aplicados desde a implantação do experimento. Nas demais profundidades as diferenças entre os tratamentos diminuíram com o aumento da profundidade. Em média, os teores de fósforo apresentados pelo solo são considerados muito baixos, o que é comum em Argissolos Amarelos e outros solos arenosos e intemperizados de regiões tropicais (JACOMINE, 1974; OLIVEIRA et al., 1992). Os teores de potássio e fósforo foram maiores no tratamento cana queimada nas profundidades 10-30 cm e 0-10 cm, respectivamente. A queima da palhada, embora tenha elevado os teores desses elementos, pode, a longo prazo, diminuir a fertilidade do solo, uma vez que as cinzas são susceptíveis a perdas pela lixiviação e/ou erosão (SANZONOWICZ, 1986), principalmente em solos com predomínio de argila de baixa atividade e reduzidos teores de matéria orgânica, como são os solos de tabuleiro.

Os teores de fósforo no solo, obtidos por Silva (2000), decresceram a partir da camada de 5-10 cm (Tabela 7). O antigo sistema sem queima foi superior significativamente na camada de 20-30 cm. A renovação com cana crua apresentou valores maiores significativamente na camada de 30-40 cm. O tratamento queimada-crua foi significativamente superior aos demais na camada de 5-10 cm. Mas na camada de 20-30 cm o tratamento crua-queimada foi superior ao aos demais.

Ao observar a variação nos teores de fósforo foi verificado que nos tratamentos com manutenção da palha no sistema houve aumento superficial, provavelmente devido a um maior aporte no sistema dos ciclos anteriores conforme verificado por Mendoza (1996). No sistema com queima, em maior profundidade, ocorre uma diminuição nos teores de fósforo provavelmente devido aos menores teores de matéria orgânica verificados nessa camada e ao aumento natural do teor de argila que possibilitariam uma maior fixação de fósforo.

Tabela 7. Teores de fósforo disponível em função do tratamento e da profundidade.

Autor	Prof cm	P			
		mg dm ⁻³			
		C	Q	CQ	QC
Mendoza 1996	0-10	4,4	11,0	-	-
	10-20	2,8	3,7	-	-
	20-30	0,9	1,7	-	-
et al. 2000	30-40	1,1	1,4	-	-
	40-60	0,8	0,9	-	-
	0-5	9,98	9,57	11,28	9,87
Silva 2000	5-10	7,53	6,57	8,04	12,65
	10-20	5,88	6,53	6,03	5,69
	20-30	5,15	3,85	7,40	3,35
	30-40	4,92	2,79	3,56	4,14
	0-5	6,80	9,60	-	-
Pinheiro 2007	5-10	2,80	3,40	-	-
	10-20	2,00	3,00	-	-
	20-30	2,40	3,30	-	-
	30-40	3,20	2,75	-	-
	40-60	1,00	2,06	-	-
	60-80	1,40	1,52	-	-
	80-100	2,80	1,38	-	-

* C – Cana crua Q- Cana queimada CQ – Cana crua-queimada QC- Cana queimada-crua

Ao analisar os sistemas, Pinheiro (2007) observou que o sistema de colheita cana queimada apresentou os maiores valores de fósforo ao longo do perfil do solo (Tabela 7), isto pode ser devido à queima da palhada da cana disponibilizando rapidamente e concentrando maiores quantidades deste nutriente pouco móvel no solo, uma vez que os nutrientes nas cinzas podem ser lixiviados, ou por efeito da movimentação – embora pequena - do solo no momento da renovação do canavial quando novos sulcos são feitos nas entrelinhas da cultura.

3.5.2 Fauna edáfica

O estudo realizado por Ceddia (1996), com população de minhocas (Tabela 8) em área cultivada com cana-de-açúcar sob diferentes formas de colheita (com e sem queima da palhada) gerou os seguintes resultados:

Tabela 8. Número de minhocas.

Variáveis	Número médio de minhocas (0,0125m ³ de solo)		
	Cana Crua	Cana Queimada	CV (%)
Época – 1 (Seca)	3,5 A*	1,6 B	67
Época – 2 (Úmida)	6,0 A	2,4 B	68

* Média de 12 repetições. Letras maiúsculas iguais entre tratamentos (dentro das épocas), não diferem significativamente pelo teste *t* de Student (α -5%).

Fonte: CEDDIA (1996)

Ceddia (1996) relatou que o número médio de minhocas durante o ano foi significativamente superior no tratamento cana crua (4,8 minhocas em 0,0125m³ de solo) (Tabela 8), estando de acordo com os resultados encontrados por Molina (1995) trabalhando com os mesmos sistemas de corte, mas em Cambissolo de tabuleiro.

Com base na afirmação de Kladvko e Mackay (1986) de que a população de minhocas varia com a cultura e o sistema de manejo, onde áreas com menor intensidade de cultivo e maior fornecimento de matéria orgânica favorecem o desenvolvimento das populações, o autor sugere que o suprimento de material vegetal é fator determinante nas diferenças encontradas, já que nos tratamentos a umidade do solo pouco varia e o aumento da temperatura, no período que precede a colheita, não parece ter efeito prolongado sobre as populações a ponto de interferir nas gerações posteriores ao fogo.

Então, para Ceddia (1996) o sistema com queima além de aumentar a temperatura do solo nas camadas superficiais e não permitir - nos primeiros meses após a colheita - a manutenção de material que proteja a superfície do solo das variações de temperatura e umidade, ainda diminui a disponibilidade de material vegetal.

Esta hipótese foi comprovada pelos dados de população dentro de épocas, onde não houve diferença significativa entre os tratamentos tanto no período seco quanto no úmido, destacando-se a primeira época (seca) (Tabela 8). E, mesmo a segunda coleta se referindo a situação de maior umidade no solo, o número de minhocas não aumentou de forma significativa. De modo geral, em cada período, o tratamento cana crua favoreceu o desenvolvimento do número de minhocas, o que se confirmou através da significância do teste t de Student (Tabela 8).

Ceddia (1996) acredita que os altos valores de coeficiente de variação (Tabela 8) sejam a causa da não significância nos testes Tukey, o que segundo Satchel (1979) é comum, uma vez que a distribuição destes animais no solo é esparsa e irregular, pois eles penetram profundidades de difícil alcance e ficam inativos em determinadas épocas do ano, dificultando a estimativa. Uma possível solução pode ser o aumento da densidade de amostragem nas parcelas. Além disso, para Ceddia (1996) outros estudos, abordando o efeito da queimada sobre a população de minhocas, devem ser feitos de modo a permitir conclusões sobre a longevidade da ação do fogo sobre a população.

Alguns anos depois Martinho et al. (2004) avaliaram a composição da fauna edáfica (Tabela 9 e Tabela 10) na mesma área sob cultivo de cana-de-açúcar e diferentes formas de colheita em longo prazo encontrando:

Tabela 9. Grupos funcionais, N^o de indivíduos coletados (NIC), Erro padrão (EP), Porcentagem do total (%) e Densidade (Ind m⁻²) na profundidade de 0-5 cm para os tratamentos cana crua e cana queimada.

Grupos Funcionais	Cana Crua				Cana Queimada			
	NIC	EP	%	Ind m ⁻²	NIC	EP	%	Ind m ⁻²
Sociais: Formicidae	21	0,78	6,16	1280	21	0,40	7,27	336
Saprófagos	23	0,85	6,74	368	11	0,55	3,81	176
Micrófagos	17	0,36	4,99	272	10	0,28	3,46	160
Fitófagos	52	0,89	15,25	832	58	0,87	20,07	928
Holometábolos	136	1,54	39,88	2176	142	1,54	49,13	2272
Larvas	16	0,56	4,69	256	7	0,38	2,42	112
Predadores	6	0,28	1,76	896	0	0,00	0,00	0
Parasitóides	56	0,65	16,42	896	35	0,51	12,11	560
Sócias: Isoptera	14	0,33	4,11	224	5	0,19	1,73	80
TOTAL	341	6,24	100	7200	289	4,72	100	4624

Fonte: MARTINHO et al. (2004)

Após reunirem os animais em grupos funcionais para melhor discussão dos resultados Martinho et al. (2004) observaram, através da análise das Tabela 9 e 10, um número maior de indivíduos no tratamento cana queimada na profundidade de 5-10 cm (6.562ind m⁻²) (Tabela

10), mostrando que a queima da palhada reduz o número de indivíduos devido morte e/ou migração da fauna do solo.

Tabela 10. Grupos funcionais, N° de indivíduos coletados (NIC), Erro padrão (EP), Porcentagem do total (%) e Densidade (Ind m⁻²) na profundidade de 5-10 cm para os tratamentos cana crua e cana queimada.

Grupos Funcionais	Cana Crua				Cana Queimada			
	NIC	EP	%	Ind m ⁻²	NIC	EP	%	Ind m ⁻²
Sociais: Formicidae	28	0,72	7,51	448	55	0,73	13,35	880
Saprófagos	19	0,47	5,09	304	14	0,52	3,40	224
Micrófagos	4	0,17	1,07	64	28	0,46	6,80	448
Fitófagos	90	1,10	24,13	1440	63	0,93	15,29	1008
Holometábolos	176	1,66	47,18	2816	182	1,76	44,17	2912
Larvas	15	0,57	4,02	192	10	0,38	2,43	160
Predadores	5	0,19	1,34	80	2	0,12	0,49	2
Parasitóides	27	0,45	7,24	432	52	0,63	12,62	832
Sócias: Isoptera	9	0,26	2,41	144	6	0,21	1,46	96
TOTAL	373	5,59	100	5920	412	5,74	100	6562

Fonte: MARTINHO et al. (2004)

Quanto aos diferentes grupos funcionais, para ambas as áreas, foi verificada uma maior participação dos Holometábolos, Fitófagos, Formicidae e Parasitóides. Havendo um acréscimo nas áreas de cana queimada, quando comparadas as de cana crua, na percentagem de Micrófagos (Tabela 10), atribuindo a isso o fato destes indivíduos habitarem camadas mais profundas, onde se encontra matéria orgânica proveniente do sistema radicular da cultura.

Já em relação às larvas, observou-se maior número de indivíduos nas parcelas com cana crua. Costa (2002) sugere que a maior presença de indivíduos saprófagos indica o estabelecimento de uma teia trófica. Comportamento este verificado nas áreas de cana crua.

Tabela 11. Índice de Shannon (H); Pielou (e); Riqueza (D).

Tratamento	Profundidade	H	e	D
Cana crua	0 – 5 cm	0,99	0,39	5,76
Cana crua	5 – 10 cm	0,91	0,39	5,05
Cana queimada	0 – 5 cm	0,88	0,38	4,87
Cana queimada	5 - 10 cm	0,68	0,31	4,58

Fonte: MARTINHO et al. (2004)

Neste trabalho não foram verificadas diferenças em profundidade para os valores dos índices de diversidade de Shannon (H) e uniformidade de Pielou (e), o que decorre da maior oferta de alimento proporcionada pela cobertura do solo com a palhada favorecendo a diversidade de organismos (Tabela 11), o mesmo ocorreu para o índice de riqueza (D).

A contribuição nutricional da cinza pela queima da biomassa da cana permite uma maior disponibilidade de nutrientes na superfície do solo (SILVA, 1998), o que para Martinho et al. (2004) pode justificar o fato de os índices de uniformidade (e) e diversidade (H) na cana queimada serem maiores na camada de 0-5 cm em relação à camada de 5-10 cm; observações essas reafirmadas pelo índice de riqueza encontrado para a cana queimada (Tabela 11).

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos analisados mostraram que a colheita da cana crua influenciou positivamente os valores de carbono orgânico, pH, Mg, Ca, valor S, valor V e CTC (valor T) em superfície. Apresentou ainda nesta camada, os melhores resultados para H+Al (valores baixos) quando comparado aos demais tratamentos.

Enquanto a renovação sem queima do canavial (QC) promoveu elevação dos teores de carbono em profundidade. Para os valores S e T (CTC); Mg; e o índice de pH os maiores valores foram, similarmente, observados em superfície - conseqüentemente - os menores teores de Al também. Houve ainda acúmulo de K na camada de 10-20 cm.

Diante dos resultados pode-se afirmar que são comuns para a área experimental valores de pH acima de 5,0. Mas comparando-se os trabalhos de 1996 e 2000 com o de 2007 vemos que houve acidificação, afinal os valores obtidos por Mendoza (1996) são numericamente maiores que os obtidos por Pinheiro (2007), o que é perfeitamente justificado pelo fato de a avaliação feita por Pinheiro (2007) ter ocorrido 14 anos após a instalação de experimento em área sem renovação. Os valores obtidos por Silva (2000) podem dever-se a calagem, uma vez que este avaliou um segundo momento experimental após a primeira renovação ocorrida em 1997 que acabou por dividir a área em dois experimentos, o Experimento I – Formas de Renovação estudado por Silva (2000) e o Experimento II – Preparo do Solo que foi renovado apenas em 2005.

O tratamento com queima apresentou os maiores valores de K e P. Já a renovação com a queima (CQ) indicou acúmulo de Ca em profundidade (30-40 cm) em relação ao antigo manejo (Q), bem como teores elevados de Mg na camada de 10-20 cm.

Em relação a fauna o tratamento cana crua apresentou superioridade de indivíduos para população de minhocas em duas épocas; e mesofauna do solo na profundidade de 0-5 cm. Ainda para a mesofauna do solo o tratamento com queima permitiu um maior número de indivíduos na camada de 5-10 cm. Em ambas as áreas houve expressiva participação dos mesmos grupos funcionais havendo, para a cana queimada maior presença de micrófagos que habitam maiores profundidades aproveitando a oferta de matéria orgânica (MO) pelo sistema radicular e para cana crua maior participação de larvas.

4 CAPÍTULO II

**EFEITO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA SOBRE OS
PARÂMETROS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO EM
ÁREA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM LINHARES - ES**

4.1 RESUMO

A cana-de-açúcar tem grande importância econômica no Brasil e um cenário favorável no país – maior produtor mundial e detentor da tecnologia de produção de etanol de cana. Porém, as pressões para inclusão e/ou ampliação das fontes renováveis na matriz energética mundial, com vistas a mitigação dos gases do efeito estufa, e da proibição da prática da queima no manejo da cana-de-açúcar, torna-se necessário avaliar os efeitos da manutenção ou eliminação da palhada na superfície do solo. A demanda por “combustíveis limpos” exige produtividades crescentes, que devem ser alcançadas por técnicas genéticas e de manejo evitando-se a expansão de áreas. Antes disso, é preciso garantir que o solo suporte altas produtividades. Assim, estudos sobre os efeitos dos sistemas de colheita na fertilidade, além de necessários, servem de subsídios para a legislação. O presente estudo avaliou a influência da manutenção da palhada (cana crua - CC e cana queimada-crua – CQ-C) e sua completa eliminação (cana queimada - CQ e cana crua-queimada – CC-Q) sobre a fertilidade. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com seis repetições, sendo cada bloco composto por quatro parcelas. As coletas ocorreram em fevereiro e novembro de 2010. Foram analisados: pH em H₂O, cálcio, magnésio, alumínio, sódio, potássio, fósforo, H+Al, carbono orgânico total, Valores S, T e V%; em três profundidades: 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Em geral, os resultados indicam que tratamentos com manutenção da palhada apresentaram, superficialmente, maiores valores para carbono orgânico, H+Al, Ca, Mg, Valores S e T. Os tratamentos com queima tiveram os maiores valores de K e P em superfície, indicando a composição do material que originou a cinza (palha da cana). Entre os períodos de coleta, foram observadas diferenças devido às condições edafoclimáticas, que favoreceram a decomposição, para os teores de carbono orgânico no solo.

Palavras-chave: Manutenção da palhada. Atributos químicos. *Saccharum officinarum*.

4.2 ABSTRACT

Sugar cane has a large economic importance and a favorable scenario in Brazil - world's largest producer and holder of technology for producing ethanol from sugar cane. However, the pressures for inclusion and/or expansion of renewable sources in the global energy matrix, toward the mitigation of greenhouse gases, and the ban on burning practices in the management of sugar cane, it is necessary to evaluate the effect of maintenance or disposal of cane stubbles on the soil surface. The demand for "clean fuels" requires crescent productivity, which should be achieved by genetic techniques and management avoiding, this way, the expansion of areas. Before it, should be ensured that the soil supports high productivity. The demand for "clean fuels" requires increased productivity, which should be achieved by genetic techniques and management avoiding the expansion of areas. Thus, studies about the effects of cropping systems on fertility, besides being required, serve as subsidies for legislation. This study was developed to evaluate the influence of maintenance of stubble (green cane - CC; burnt cane - green cane - CQ-C) and its complete removal (burnt cane - CQ; green cane-burnt cane - CC-Q) on fertility. The experimental design was randomized blocks with six replications, each block consisting of four parcels. Samplings occurred at February and November of 2010. They were analyzed: pH in H₂O, calcium, magnesium, aluminum, sodium, potassium, phosphorus, H+Al, total organic carbon, and values S, T and V%, in three soil depths, 0-10, 10-20 and 20-40 cm. In general, the results indicated that treatment with stubble maintenance showed, on the surface soil, highest values of organic carbon, H+Al, Ca, Mg, S and T values. The burnt treatments showed the highest values of K and P on surface, reflecting the composition of the ash material where it was originated (cane straw). Among the sampling periods, there were differences due to climate conditions, which contributed for organic carbon decomposition in the soil.

Key words: Maintenance of stubble. Chemical attributes. *Saccharum officinarum*

4.3 INTRODUÇÃO

A produção canavieira, desde a colonização, é de extrema importância para a economia brasileira. Todos os produtos obtidos a partir da exploração e processamento da cultura têm um destino final, seja pela alimentação, geração de energia, produção de fármacos, utilização como condicionadores de solo etc. Durante a expansão da cultura houve estímulos às práticas culturais que facilitassem o manejo reduzindo o uso de mão-de-obra. Dessa forma ganharam espaço a utilização da queima prévia do canavial por ocasião da colheita e o revolvimento intensivo do solo durante o plantio

Os tabuleiros costeiros se destacam como importante área canavieira, onde os sistemas de produção com cultivo contínuo de terras; preparo excessivo do solo; elevado tráfego de máquinas e queima da palhada, previamente à colheita, podem causar degradação dos solos e reduzir sua produtividade (MAIA e RIBEIRO, 2004).

O uso do solo para atividades agrícolas influencia suas propriedades químicas, físicas e biológicas, e, particularmente, os monocultivos causam impactos ambientais que ocasionam o empobrecimento da biodiversidade e afetam drasticamente a flora e fauna local e, muitas vezes, regionalmente (ROSSETTO et al., 2009).

A prática da queima, dentre outras consequências, prejudica a manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo por causar sua rápida mineralização. Outro ponto prejudicial é o fato do solo ficar descoberto por grandes períodos, o que favorece o processo erosivo. Alimentados pela preocupação com o aquecimento global surgem decretos estaduais que proíbem a prática da queima usando como alternativa à colheita manual com queima, a colheita mecanizada sem queima da palhada.

A manutenção dos restos culturais no solo beneficia o sistema produtivo, pois protege o solo dos processos erosivos, da incidência direta de radiação, além de manter a umidade, ciclar os nutrientes e reduzir o consumo de herbicidas. Entretanto, os incrementos de matéria orgânica - e seus benefícios - devido a manutenção da palha dependem da qualidade e da quantidade de material, das práticas culturais e das condições edafoclimáticas (WOOD, 1991; CEDDIA et al., 1996; PINHEIRO et al., 1996).

Surge ainda, pressão internacional para substituição dos combustíveis fósseis, na matriz energética mundial, por fontes de energia renováveis. O suprimento dessa demanda requer uma exploração agrícola sustentável, via ganhos de produtividade que poupem ao máximo o uso adicional de terras.

Assim, tornam-se mais importantes estudos que avaliem o efeito dos sistemas de colheita da cultura nos atributos químicos e físico-químicos. Já que quando se pensa em acréscimos na produção é necessário manejar o solo de forma a promover incrementos ou favorecer: a disponibilidade de nutrientes.

Dessa forma, justifica-se o estudo cujo objetivo, detalhado neste capítulo, é o de avaliar a influência de sistemas de colheita sobre a fertilidade do solo em área na Usina LASA, Linhares (ES).

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Localização e descrição da área experimental

O estudo (Figura 1) foi realizado em área cedida pela Linhares Agroindustrial S. A. (LASA) no município de Linhares – ES, situado entre os paralelos 19° 06' e 19° 18' Sul e os meridianos 39° 45' e 40° 19' Oeste. A altitude local é de 28m.

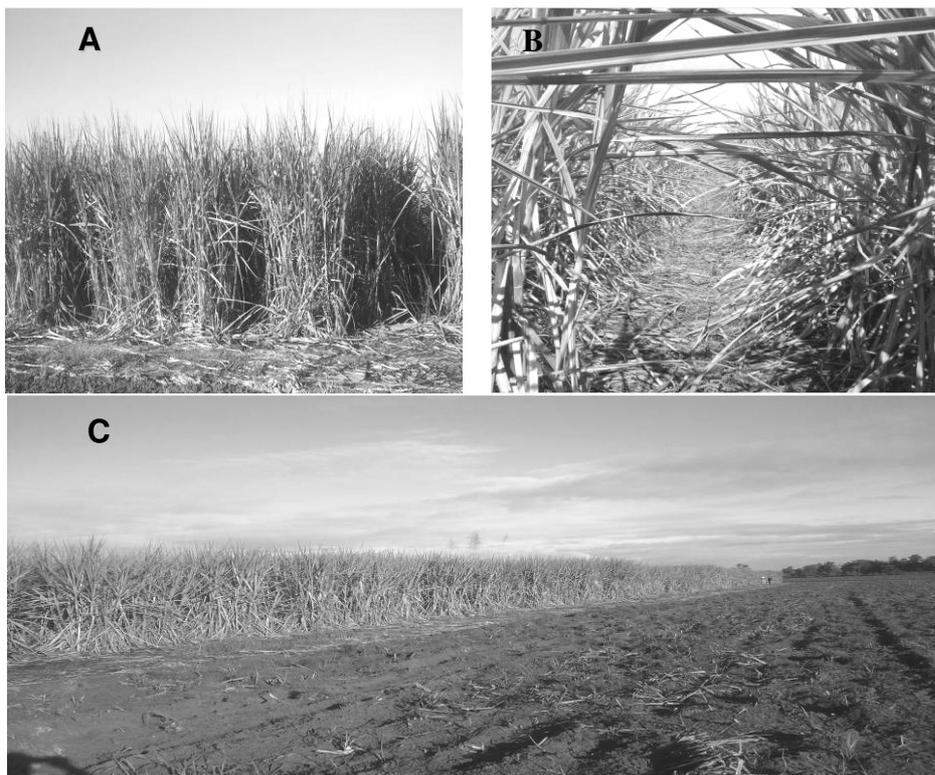


Figura 1. Área experimental. **A-** Vista frontal dos blocos; **B-** Interior das parcelas.

De acordo com a divisão regional do Estado, o município de Linhares é englobado na zona estratigráfica Baixo Rio Doce (EMBRAPA/SNLCS, 1978). Esta região é caracterizada por extensas áreas com relevo suave ondulado onde uma série de baixos platôs compõe o chamado “relevo tabuliforme”. Os declives raramente são superiores a 3%. A vegetação primária remanescente na região é representada pela Floresta Tropical Subperenifólia.

O clima da região corresponde na classificação de Köppen ao tipo Aw (tropical úmido com período chuvoso no verão e seco no inverno). A época mais quente do ano acontece nos meses de dezembro-janeiro-fevereiro-março (Figura 2). Já a mais fria se estende de julho a agosto. Geralmente, dezembro caracteriza-se por ser o mês mais chuvoso e agosto o mais seco. Em 2009, o regime hídrico foi atípico e o mês de outubro caracterizou-se de maior precipitação (Figura 3) enquanto maio, junho, julho e setembro foram os meses mais secos¹.

O que pode ser explicado pela influência do fenômeno meteorológico El Niño, que é um dos fenômenos climáticos mais estudados no mundo, tendo seus impactos globais bem rastreados. Apesar de informações garantirem que no Sudeste há aumento sutil das

¹ Segundo informações obtidas no dia 09 de fevereiro de 2010 dos funcionários da usina, não chovia no local desde o dia 02 de novembro.

temperaturas médias, não é um padrão característico de mudanças na distribuição e intensidade das chuvas (SOARES et al., 2008).

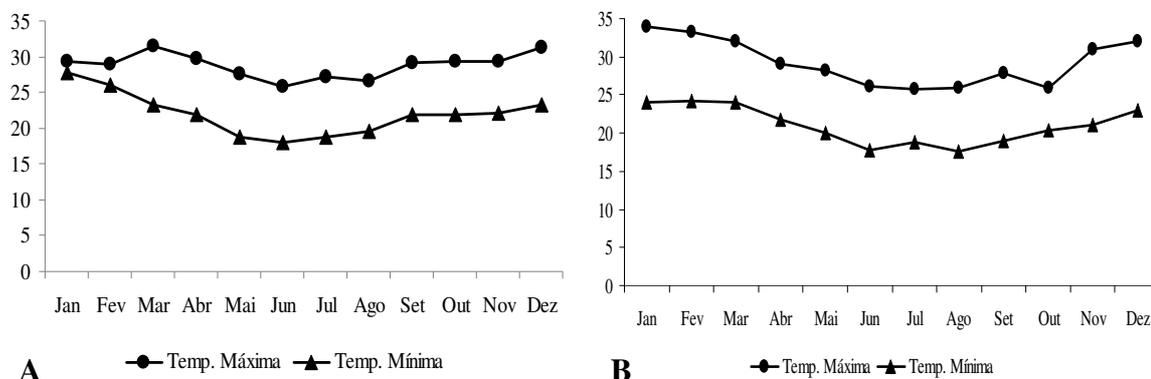


Figura 2. Média mensal das máximas e mínimas temperaturas em Linhares – ES: **A** – em 2009 e **B** – em 2010. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2009) e Incaper (2010).

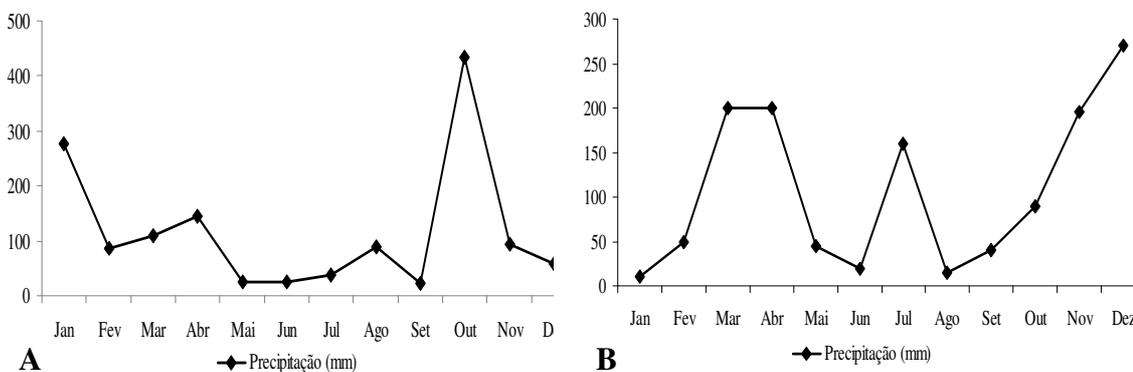


Figura 3. Pluviosidade em Linhares – ES: **A** - em 2009 e **B** – em 2010. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2009) e Incaper (2010).

Porém, no que tange à agricultura, uma das conseqüências para algumas regiões do globo é a mudança no regime de chuvas, tanto em termos de precipitação pluviométrica quanto na mudança na época padrão, o que afeta o cultivo do plantio a colheita. Pode haver influência durante todo seu período de atuação, mas duas épocas do ano são mais afetadas pelas fases do ENOS (El Niño–Oscilação Sul). A primavera e começo de verão (outubro, novembro e dezembro), no ano inicial do evento, e final de outono e começo de inverno (abril, maio e junho), no ano seguinte ao início do evento. Assim, nessas épocas, as chances de chuvas acima do normal são maiores (SOARES et al., 2008). Uma primeira análise nos permite atribuir ao fenômeno supra citado esta variação no ano de 2009.

Em 2010, os meses de janeiro, junho e agosto foram os mais secos, e o de dezembro mais chuvoso, sendo a precipitação ocorrida em julho anômala (Figura 2 e Figura 3).

O experimento instalado em maio de 1989, na fazenda Duas Lagoas, área 8, quadra 21, na destilaria LASA em Linhares - ES, área de tabuleiros em solo classificado como Argissolo Amarelo textura arenosa/média (RAVELLI NETO e LIMA, 1987) – foi renovado parcialmente em 1997 e na área total em 2005. O solo tem como material de origem sedimentos argilo-arenosos pré-edaforizados do Terciário, Formação Barreiras. De maneira geral, possuem horizontes bem diferenciados com horizonte B textural onde predomina argila caulínica, sendo normalmente distróficos (JACOMINE, 1974) e coesos. Além da presença de horizontes coesos, os solos que predominam nos tabuleiros são, em geral, arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, de nutrientes e baixa capacidade de retenção de água

(SOUZA e VIEIRA NETO, 2003). São encontrados na zona litorânea do Brasil, desde o Amazonas até Macaé no Estado do Rio de Janeiro. Para estes solos, a matéria orgânica representa 70% da capacidade de retenção de cátions e está associada a capacidade de retenção de água e as propriedades físicas e biológicas.

4.4.2 Cultivar de cana-de-açúcar (características)

A cultivar de cana-de-açúcar foi a SP 79-1011 (Figura 4) que, segundo Cardoso (2000), citado por Ramos (2006), apresenta as seguintes características: maturação média, alto teor de sacarose, média exigência em fertilidade do solo, ótima para solo arenoso, boa para solo argiloso; raro florescimento, pouco chochamento, bom perfilhamento, boa brotação de soqueiras, médio a alto teor de fibras, resistente a escaldadura, carvão e mosaico, fácil despalha, difícil tombamento e alta produtividade.



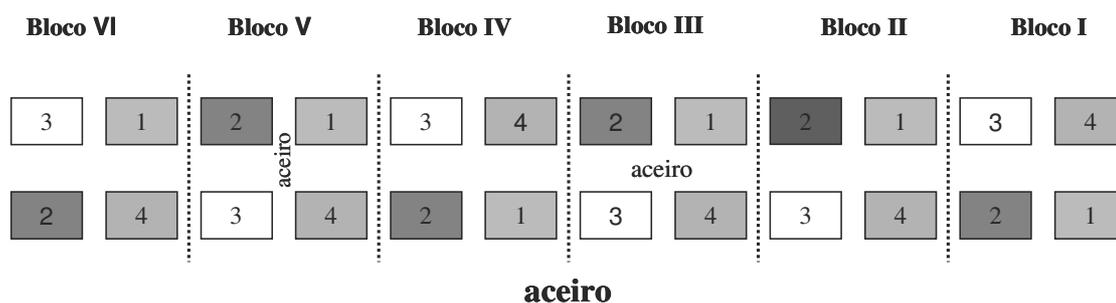
Figura 4. Características visuais da cana-de-açúcar, cultivar SP79-1011.
Fonte: RAMOS, 2006.

4.4.3 Delineamento experimental e tratamentos

A área experimental consta de seis blocos (Figura 5), sendo cada bloco composto por quatro parcelas, em duas a colheita da cana-de-açúcar é com queima da palhada e em duas sem queima da palhada. As parcelas têm área de 286 m² cada. Cada parcela contém 11 linhas com 20,0 m de comprimento, espaçadas de 1,30 m. Duas linhas de cada lado da parcela são consideradas como bordadura. Nas parcelas, a implantação da cultura foi feita utilizando-se o cultivo mínimo, que consiste na destruição da soqueira com a utilização de herbicidas e abertura de sulcos nas entrelinhas para o plantio sem o prévio revolvimento do solo. A adubação utilizada para todas as áreas é uniforme, seguindo a rotina da usina, sendo aplicados no plantio 500 kg ha⁻¹ da formulação 05-20-20, e na soca 500 kg ha⁻¹ da formulação 20-00-30.

O desenho experimental utilizado é o de blocos ao acaso com um fator composto por quatro níveis, sendo constituídos de formas de renovação do canavial, onde, em uma das parcelas, sempre é cultivada cana colhida sem queima, em outra, cana sempre colhida com queima, e nas outras duas, se alterna por ocasião da renovação cana crua/cana queimada e cana queimada/cana crua. Os blocos são repetidos 6 vezes.

O experimento implantado em maio de 1989 sofreu a primeira renovação em setembro de 1997, onde foram inseridas as formas de renovação do canavial, processo este acompanhado por SILVA (2000). Em 2005 ocorreu a segunda renovação do experimento tendo seus efeitos avaliados, anteriormente, por TAVARES (2007), e neste presente trabalho.



Legenda:

- 1-- parcelas com sistema de colheita sempre sem queima,
- 2-- parcelas com sistema de colheita sempre com queima,
- 3-- parcelas que no último plantio houve alteração de sistema sem queima para sistema com queima, e
- 4-- parcelas que no último plantio houve alteração de sistema com queima para sistema sem queima.

Figura 5. Croqui do Experimento. A distribuição original das parcelas foi descrita por TAVARES (2007).

As amostragens de solo foram feitas em fevereiro e novembro de 2010, nos períodos de crescimento exponencial da cultura e pós-colheita. A coleta de fevereiro ocorreu 5 meses após o corte da 3ª soca (quarto corte – setembro/2009) e 3 meses após a adubação; já a de novembro 2 meses após o corte da 4ª soca (quinto corte – setembro/2010) e antes da adubação.

4.4.4 Amostragem

Amostras de solo foram coletadas nas entrelinhas da cultura, com enxadão, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Figura 6), e trado de rosca na profundidade de 20-40 cm (Figura 7). Para obtenção de pontos aleatórios e representativos fez-se o caminhar em zigue-zague e, ao final, as três amostras simples de cada uma das profundidades constituíram três amostras compostas por parcela (12 por bloco).



Figura 6. A - Coleta de solo na profundidade 0-10 cm e B – Coleta na profundidade de 10-20 cm.



Figura 7. Coleta de solo na profundidade de 20-40 cm.

4.4.5 Métodos analíticos

a) Parâmetros de fertilidade do solo

Depois de coletadas, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas para análise laboratorial. Para tanto, foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). No Laboratório de Análises de Solo e Planta do Departamento de Solos/UFRRJ, seguindo o descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA/CNPS 1997). As amostras foram então submetidas às seguintes análises químicas:

- a) **pH em água:** Determinado com potenciômetro na suspensão solo-água, na proporção 1:2,5, após uma hora de contato ou até a estabilização do aparelho.
- b) **Fósforo assimilável:** Extraído com solução de $\text{HCl } 0,05\text{mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,0125\text{mol L}^{-1}$, e dosado por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibdico com ácido ascórbico.
- c) **Potássio e sódio trocáveis:** Extraídos com solução de $\text{HCl } 0,05\text{mol L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 0,0125\text{mol L}^{-1}$, na proporção solo-extrator 1:10 e determinados por espectrofotometria de chama.
- d) **Cálcio e magnésio trocáveis:** Extraídos conjuntamente com solução de $\text{KCl } 1,0\text{mol L}^{-1}$ e determinados pelo método complexométrico com coquetel tampão e titulação com $\text{EDTA } 0,025\text{N}$. O cálcio extraído com $\text{KOH } 10\%$ e determinado por titulação com a solução anterior. O teor de magnésio é obtido por diferença.
- e) **Alumínio trocável:** Extraído com solução de $\text{KCl } 1,0\text{mol L}^{-1}$ na proporção 1:10 e determinado por titulação com $\text{NaOH } 0,025\text{mol L}^{-1}$.
- f) **Acidez potencial:** Extraída na proporção 1:15 com solução de $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$ (acetato de cálcio) $0,5\text{mol L}^{-1}$ ajustada a pH 7,0 e determinada por titulação com $\text{NaOH } 0,025\text{mol L}^{-1}$. O valor obtido corresponde ao Valor H (H+Al).
- g) **Carbono orgânico:** Determinado após oxidação da matéria orgânica com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 0,2\text{mol L}^{-1}$, em meio sulfúrico e titulação da solução em excesso com $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2\text{SO}_4$ (sulfato ferroso amoniacal) $0,05\text{mol L}^{-1}$.

Com esses resultados foram calculados:

- **Soma de bases trocáveis (valor S)** → Pela expressão:

$$\text{Valor S} = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)}$$

- **Valor T (CTC)** → Pela expressão:

$$\text{Valor T} = \text{Valor S} + \text{Valor H [H+Al]} \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)}$$

- **Porcentagem de saturação por bases (V%)** → Pela expressão:

$$\text{V\%} = (\text{Valor S} / \text{Valor T}) \times 100$$

4.4.6 Interpretação dos dados e tratamento estatístico

Os dados sobre fertilidade foram submetidos à verificação de homogeneidade das variâncias dos erros (Cochran) e normalidade dos dados (Lilliefors), análise de variância com aplicação do teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 10% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAEG 9.1.

Parâmetros avaliados em diferentes épocas e/ou profundidades de amostragem foram avaliados individualmente.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 12 são apresentados os valores para os atributos químicos do solo: pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Al^{+3} , H+Al, C, P e valor S, T e V% para cada tratamento estudado nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 cm. A primeira amostragem para a caracterização química ocorreu em fevereiro/2010, após a colheita da 3ª soca e 3 meses após a adubação. Os valores dos atributos químicos avaliados, após a segunda coleta (novembro/2010 – após a colheita da 4ª soca da cultura), em cada tratamento e profundidades estão na Tabela 13.

Não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria dos atributos avaliados (Tabela 12 e Tabela 13, Figura 8 a Figura 19), ou seja, não aconteceram significativas alterações com os diferentes tipos de manejo da cultura, mesmo com o longo tempo de produção (mais de vinte anos para CC e CQ). Resultados semelhantes, em solos cultivados por longo tempo com cana-de-açúcar, foram obtidos por Canellas et al. (2003) em um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico em Campos dos Goytacazes – RJ, e Silva e Ribeiro (1998), em um Latossolo Amarelo em São Miguel dos Campos – AL. Ainda, para o experimento avaliado nos anos de 1998 e 1999, em Argissolo Amarelo de tabuleiro (mesma área cedida pela LASA), Silva (2000) encontrou que os antigos sistemas de colheita (queima e não queima) e os implantados com a renovação (sucessão cana crua-queimada e cana queimada-crua) não alteraram os parâmetros de fertilidade.

Mesmo não havendo diferença significativa entre os tratamentos os maiores teores de carbono orgânico, em fevereiro/2010, foram observados no tratamento CC (Figura 8). Já na coleta de novembro/2010, os maiores teores de C orgânico foram observados em CQ-C (Figura 8) podendo-se inferir que o material orgânico depositado em superfície a cada ciclo da cultura (cerca de $18,3\text{t ha}^{-1}$ de folhas + pontas em 2009) e sua posterior decomposição contribuiriam para a elevação dos teores de carbono na camada de 0-10 cm. Além disso, no caso específico do tratamento CQ-C, o manejo anterior (queima) pode ter influenciado os resultados, já que pesquisas dão conta que em áreas submetidas à queima há maior grau de humificação da matéria orgânica fazendo com que esta seja mais estável no ambiente, ou até mesmo que seu conteúdo, em profundidade, se eleve (CANELLAS et al., 2003).

Em geral, para todos os tratamentos os teores de C diminuíram em profundidade (Figura 8), o que foi também relatado por outros autores (KLEPKER e ANGHINONI, 1995; BAYER e MIELNICZUK, 1997; SILVA e RIBEIRO, 1998; RHEINHEIMER et al., 1998; SANTOS e TOMM, 1999; TEIXEIRA et al., 2003). A redução de C foi significativa para CC e CC-Q, coleta de fevereiro/2010, e para todos os tratamentos, em novembro/2010, e já nos primeiros 10 cm.

Segundo Silva e Ribeiro (1998), a redução dos teores de C em profundidade na cana-de-açúcar pode ser normal. Sampaio et al. (1987) concluíram que 93% da massa de raízes dessa cultura encontram-se nos primeiros 60 cm de solo, estando 75% nos primeiros 20 cm de profundidade. Para Salcedo et al. (1985) essa massa de carbono total promoveria uma taxa anual de mineralização de 3,4 toneladas de carbono por hectare para as plantas, nos 60 cm de profundidade, bem como elevaria os teores de elementos a níveis potencialmente tóxicos, como no caso do alumínio (MENDONÇA, 1995).

Comparando os teores de C em ambas coletas foi clara a sua redução, independente do tratamento. O que pode ter relação com o regime hídrico atípico, as temperaturas elevadas e, em julho, a maior densidade de organismos edáficos (ver CAPÍTULO III), favorecendo a decomposição do material e a imobilização dos compostos resultantes; com formação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, móveis no sistema e que percolam, ou pela competição por nutrientes entre a cultura e a fauna edáfica (SILVA, 2000).

Tabela 12. Resultado da análise química para um Argissolo Amarelo, em Linhares (ES) submetido a diferentes manejos de colheita. Valores referentes à coleta de fevereiro de 2010.

Prof	pH H ₂ O	Cátion Trocável				Valor S	Al ⁺³	H + Al	Valor T	Valor V	P	C
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺							
cm	----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹			
Cana Crua (CC)												
0-10	5,0Ba	0,88Aa	0,32Aa	0,02Aa	0,10Ba	1,32Aa	0,42Aa	4,68Aa	6,00Aa	22,63Aa	8,55Aa	22,37Aa
10-20	5,1Aa	0,52Ab	0,25Aa	0,02Aa	0,06Ab	0,84Ab	0,58Aa	3,66Ab	4,50Ab	18,60Aa	3,92Ab	15,32Ab
20-40	5,2Aa	0,52Ab	0,22Aa	0,02Aa	0,05Ab	0,80Ab	0,43Aa	3,42Ab	4,22Ab	19,05Aa	3,39Ab	11,81Ab
Cana Queimada (CQ)												
0-10	5,2ABa	0,97Aa	0,27Aa	0,02Aa	0,13Aa	1,39Aa	0,31ABb	4,44Aa	5,83Aa	24,59Aa	10,34Aa	18,10Aa
10-20	5,2Aa	0,63Ab	0,18Aa	0,01Ab	0,05Ab	0,88Ab	0,42Bab	4,04Aa	4,92Aa	18,15Aa	4,45Ab	18,23Aa
20-40	5,1Aa	0,43Ab	0,22Aa	0,02Aa	0,03Ac	0,70Ab	0,51Aa	4,06Aa	4,76Aa	15,44Aa	3,49Ab	12,73Ab
Cana Crua-Queimada (CC-Q)												
0-10	5,0Ba	0,68Aa	0,32Aa	0,02Aa	0,09Ba	1,11Aa	0,42Aa	4,47Aa	5,57Aa	20,38Aa	11,15Aa	17,77Aa
10-20	5,0Aa	0,33Ab	0,28Aa	0,02Aa	0,05Ab	0,69Ab	0,58Aa	3,99Aab	4,68Aab	15,22Aa	5,48Aab	13,99Ab
20-40	4,9Aa	0,37Ab	0,22Aa	0,02Aa	0,04Ab	0,65Ab	0,56Aa	3,21Ab	3,86Ab	17,20Aa	3,32Ab	11,31Ab
Cana Queimada-Crua (CQ-C)												
0-10	5,3Aa	0,90Aa	0,46Aa	0,02Aab	0,11Ba	1,49Aa	0,25Bb	3,81Aa	5,30Aa	28,17Aa	7,37Aa	18,64Aa
10-20	5,0Aa	0,53Ab	0,33Aa	0,02Ab	0,06Ab	0,94Aab	0,43Ba	3,42Aa	4,36Aa	20,68Aa	4,93Aa	16,20Aa
20-40	5,1Aa	0,45Ab	0,23Aa	0,03Aa	0,04Ac	0,74Ab	0,49Aa	3,33Aa	4,08Aa	18,46Aa	7,11Aa	11,30Ab

* Médias seguidas de mesma letra minúscula (para profundidade dentro de tratamento) e maiúscula (para tratamento dentro de profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$).

Tabela 13. Resultado da análise química para um Argissolo Amarelo, em Linhares (ES) submetido a diferentes manejos de colheita. Valores referentes à coleta de novembro de 2010.

Prof	pH H ₂ O	Cátion Trocável				Valor S	Al ⁺³	H + Al	Valor T	Valor V	P	C
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺							
cm	----- cmol _c dm ⁻³ -----								%	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	
Cana Crua (CC)												
0-10	5,0Aa	0,35Aa	0,30Aa	0,01Aa	0,11Aa	0,77Aa	0,41Aa	3,83Aa	4,59Aa	16,82Aa	5,72Aa	12,92Aa
10-20	5,0Aa	0,27Aa	0,26Aa	0,01Aa	0,07Ab	0,61Aa	0,41Aa	3,07Ab	3,68Ab	16,09Aa	5,41Aa	8,78Ab
20-40	4,9Aa	0,30Aa	0,24Aa	0,01Aa	0,05Ac	0,60Aa	0,45Aa	3,56Aab	4,16Aab	14,61Aa	2,73Aa	7,99Ab
Cana Queimada (CQ)												
0-10	5,3Aa	0,45Aa	0,29Aa	0,01Aa	0,11Aa	0,85Aa	0,24Ab	3,32Aa	4,17Aa	20,64Aa	6,86Aa	12,21Aa
10-20	5,0Ab	0,27Aa	0,19Aa	0,01Aa	0,05Ab	0,51Ab	0,39Aa	3,17Aa	3,68Ab	13,98Aa	1,95Ab	9,20Ab
20-40	5,0Ab	0,35Aa	0,20Aa	0,01Aa	0,03Ac	0,59Ab	0,39Aa	3,39Aa	3,98Aab	14,72Aa	2,61Ab	8,93Ab
Cana Crua-Queimada (CC-Q)												
0-10	5,1Aa	0,45Aa	0,29Aa	0,01Aa	0,11Aa	0,86Aa	0,36Ab	3,83Aa	4,69Aa	18,38Aa	10,29Aa	12,67Aa
10-20	4,8Aa	0,23Ab	0,21Ab	0,01Aa	0,05Ab	0,49Ab	0,48Aab	3,44Ab	3,93Ab	12,42Ab	3,71Ab	9,43Ab
20-40	4,9Aa	0,26Ab	0,18Ab	0,01Aa	0,03Ab	0,48Ab	0,53Aa	3,57Aab	4,04Ab	12,07Ab	4,60Ab	7,96Ac
Cana Queimada-Crua (CQ-C)												
0-10	5,1Aa	0,48Aa	0,26Aa	0,01Aa	0,10Aa	0,86Aa	0,34Aa	3,44Aa	4,30Aa	19,44Aa	9,07Aa	13,19Aa
10-20	5,0Aa	0,28Aa	0,21Aa	0,01Ab	0,06Ab	0,55Ab	0,43Aa	3,28Aa	3,83Ab	14,39Ab	2,05Ab	8,77Ab
20-40	4,9Aa	0,28Aa	0,21Aa	0,01Ab	0,04Ab	0,53Ab	0,46Aa	3,36Aa	3,89Ab	13,83Ab	1,89Ab	7,89Ab

* Médias seguidas de mesma letra minúscula (para profundidade dentro de tratamento) e maiúscula (para tratamento dentro de profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$).

Afinal, Urquiaga et al. (1991) encontraram que após 5 anos, em experimento na Usina Cruangi em Timbauba - PE, das 74 t ha⁻¹ de palha depositadas em superfície restaram somente 6 t ha⁻¹, indicando que, aproximadamente, 92% da palha depositada foi degradada a cada ano, constituindo um processo relativamente rápido que favorece a atividade biológica do solo.

Baseado no aporte de matéria orgânica encontrado para os anos agrícolas de 2009 e 2010, e nos teores de carbono orgânico (C) obtidos entre fevereiro e novembro/2010 - onde se verifica redução de até 50% do valor tido como inicial (fevereiro/2010) - torna-se possível traçar um paralelo entre a redução dos teores de C e a degradação da palhada depositada a cada ciclo. Assim, podemos estimar que, entre 4 e 12 meses, as 68 t ha⁻¹ de folhas + pontas adicionadas à superfície do solo ao final da produção em 2009 (considerando a adição de todos os tratamentos) foram transformadas, e se a taxa de redução do carbono orgânico fosse diretamente proporcional a da decomposição do palhicho restariam, até a colheita subsequente, apenas 34 t ha⁻¹. Se o aporte médio anual fosse de 17 t ha⁻¹ de folhas + pontas, com o decorrer do experimento (21 anos) seriam adicionadas 357 t ha⁻¹ desses resíduos, formando um manto de material vegetal. Considerando ainda que durante as avaliações foi detectado apenas material recém adicionado pode-se concluir que a taxa de mineralização do resíduo é realmente superior ao especulado, como confirmam resultados de Urquiaga et al. (1991).

Vale lembrar que a taxa de decomposição da palhada e a dinâmica do carbono são influenciadas pela disponibilidade hídrica e de oxigênio, pela composição química do substrato (OLIVEIRA et al., 1999a) e quantidade de palha depositada. De fato, Campos (2003), assim como Urquiaga et al. (1991), encontrou taxas de decomposição da ordem de 90%. Neste mesmo trabalho Campos (2003) encontrou que a palhada total depositada e, após 12 meses, decomposta gerou um aumento de 1,5 Mg de matéria seca por hectare correspondendo a um estoque de 0,7 Mg de carbono por hectare.

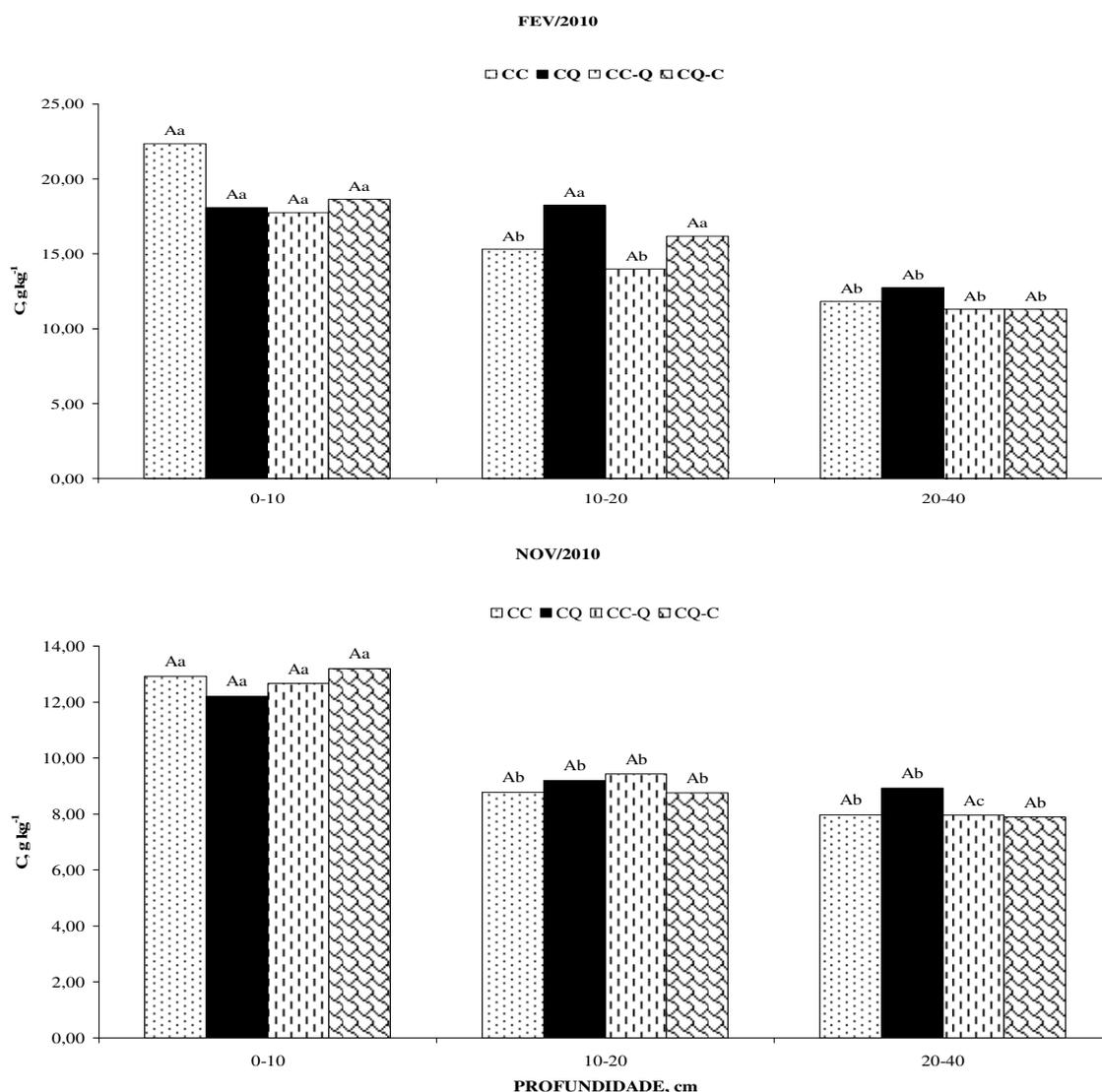
Apesar de benéfica, a cobertura do solo neste sistema sofre rápida mineralização, carecendo de maiores informações sobre sua contribuição efetiva para o carbono orgânico e/ou matéria orgânica do solo, uma vez conhecida pode-se determinar quanto desta palhada pode ser deixada no solo e quanto pode ser usada para a geração de energia.

Ressalta-se que para a região estudada (Linhares – ES) não se verifica a formação do “mulch”, então a colheita da cana crua não representaria um problema fitossanitário no que diz respeito a incidência de cigarrinha-das-raízes, como ocorre em outras localidades.

Os valores de pH (Figura 9), para a coleta de fevereiro/2010, foram significativamente maiores para o tratamento cana queimada-crua (CQ-C), em comparação aos tratamentos CC (cana crua) e CC-Q (cana crua-queimada), na primeira camada, o que está de acordo com os resultados obtidos por Silva (2000) avaliando mesma área experimental. Mendoza (1996) constatou que, em termos de produtividade, a cana-de-açúcar é mais influenciada pelo manejo dos anos anteriores, do que pelo ocorrido no ciclo atual. Sendo assim, os maiores valores de pH obtidos para o tratamento CQ-C podem estar relacionados a presença de cinzas do manejo anterior que agora encontram-se protegidas de perdas por lixiviação e/ou erosão.

Fassbender (1987) afirma que aumentos de pH são verificados quando se pratica a queima sendo atribuídos à presença de cinzas ricas em potássio, cálcio e magnésio que, após a queima, transformam-se em óxidos, e/ou carbonatos, e por terem reação alcalina podem diminuir a concentração de hidrogênio no solo. Ainda, solos arenosos e pobres em matéria orgânica são fracamente tamponados, então pequenas quantidades de cinzas podem elevar sensivelmente o pH, corroborando os resultados encontrados.

Para Mendoza (1996), a manutenção da palhada, e conseqüente formação de ácidos fúlvicos principalmente em superfície, favorece a diminuição do pH, porém Sidiras e Pavan (1985) relatam que a presença de radicais orgânicos da matéria orgânica influenciariam positivamente o pH retirando os íons hidrogênio da solução do solo.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
 * Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

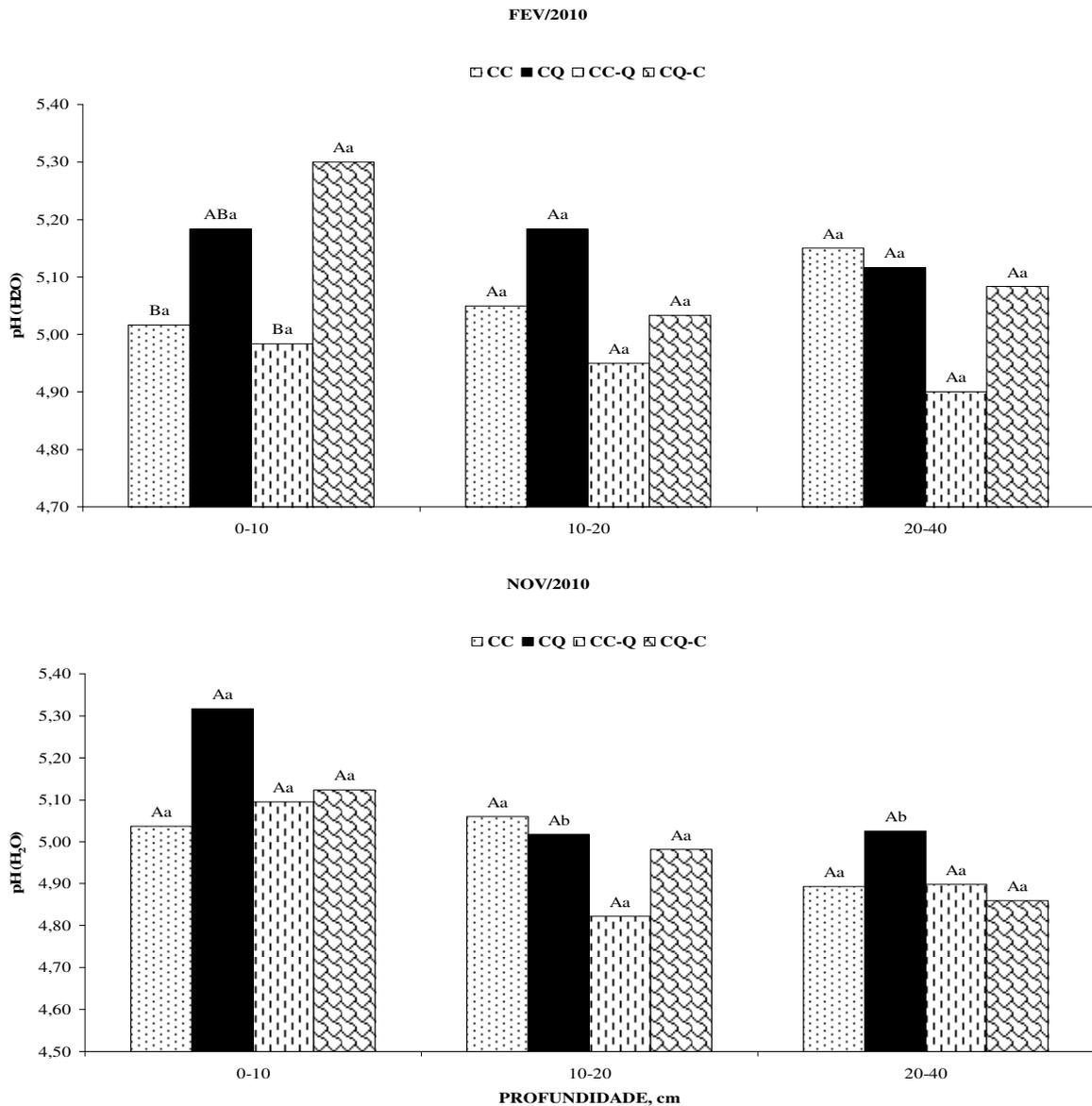
Figura 8. Teores de carbono orgânico em função do tratamento e da profundidade.

Já em novembro/2010, os valores de pH (Figura 9) não apresentaram diferenças significativas entre áreas ou profundidades – exceto no tratamento CQ para a profundidade de 0-10 cm, mas tenderam a diminuir em subsuperfície, o que está de acordo com os resultados encontrados por Mendoza (1996), também em Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar em Linhares - ES. Os baixos valores de pH, em profundidade, podem ser devidos a absorção de nutrientes pelas raízes e a consequente liberação de hidrogênio (REIS, 2005).

Tais valores, nesta coleta, foram maiores para o tratamento CQ, em comparação aos demais, na primeira camada. Coutinho (1994), citado por Heringer et al. (2002), afirma que a elevação do pH do solo deve-se ao efeito das cinzas que reduzem, temporariamente, os teores de Al e de ácidos orgânicos (HERINGER et al., 2002) ao mesmo tempo em que aumentam a saturação de bases na superfície do solo (SCHACHT et al., 1996).

Contrariando o exposto, Giovannini e Lucchesi (1997) ao investigarem as alterações provocadas nos parâmetros físico-químicos do solo por queimadas experimentais em

diferentes intensidades relatam que o pH do solo diminuiu em temperaturas até 395°C, havendo claro aumento em temperaturas mais elevadas. Informam também que as alterações ocorridas nas propriedades até 2,5 cm, profundidade a partir da qual a temperatura foi insignificante, relacionam-se aos processos desencadeados pela temperatura atingida durante o incêndio; as cinzas, pelo menos imediatamente após o fogo, não afetariam tais processos.



* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 9. Valores de pH em função do tratamento e da profundidade.

Ainda, Santos (1976) estudando o efeito do tratamento térmico em três Latossolos encontrou que quando aplicado por uma hora, se a temperatura não ultrapassasse 100°C o tratamento pouco influía no pH, mas em temperaturas acima de 100°C modificações mais ou menos drásticas eram detectadas. Assim, o pH apresentou aumento contínuo após 100°C atingindo diferenças superiores a uma unidade de seu valor original a 300°C.

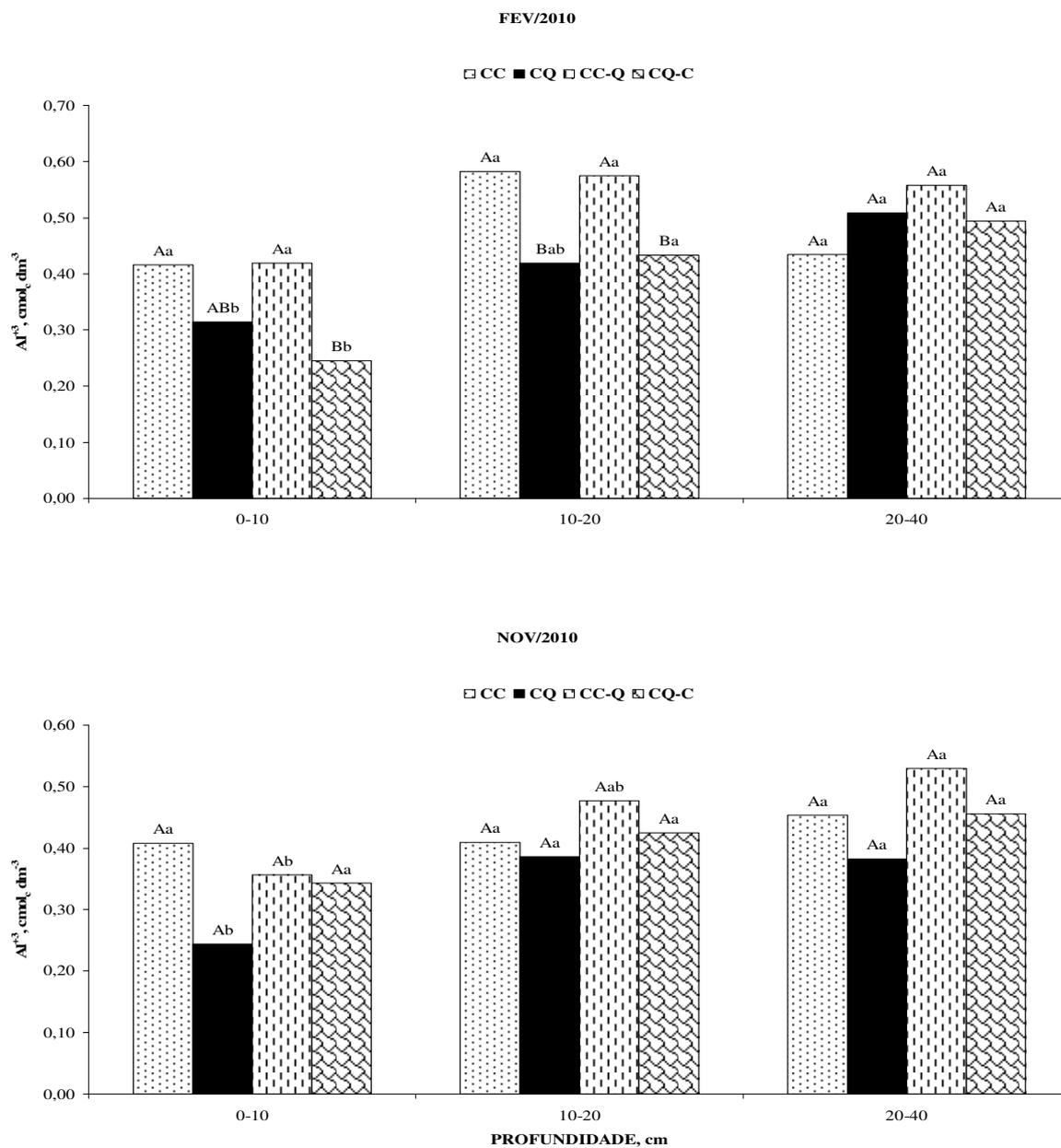
Os menores valores de alumínio, observados em ambas as coletas, coincidem com os maiores valores de pH. Portanto, o tratamento CQ-C apresentou os menores teores de alumínio (Figura 10) quando comparado aos tratamentos CC e CC-Q na primeira camada, para fevereiro/2010, e o tratamento CQ apresentou os menores teores de alumínio (Figura 10) quando comparado aos demais tratamentos também na primeira camada, para novembro/2010. Este último resultado discorda daqueles encontrados por HERINGER et al. (2002) onde o campo nativo submetido a queima apresentou sempre o maior teor de Al trocável. A menor disponibilidade de alumínio se deve a ocorrência de precipitação conforme há elevação do pH (COUTINHO et al., 1993).

Conforme exposto anteriormente, Santos (1976) avaliou o efeito do tratamento térmico em três Latossolos observando que quando aplicado por uma hora, até a temperatura de 100°C o tratamento pouco influía no pH e no Al trocável, mas em temperaturas acima de 100°C ocorriam modificações. O teor de Al trocável (extraído em KCl) diminuiu em temperaturas acima de 100°C, chegando a zero para o tratamento a 300°C. Então, as reduções obtidas pelo tratamento térmico beneficiam o desenvolvimento das plantas, pela minimização da toxidez. Para o autor fica claro que, independente da neutralização promovida pelas cinzas, o próprio calor reduz os níveis tóxicos de alumínio para as plantas. De forma geral, em ambas as coletas, os valores da acidez potencial não diferiram entre tratamentos (Figura 11), o que está de acordo com os resultados obtidos por Mendoza (1996) ao avaliar o efeito das colheitas com queima e sem queima para o mesmo local de estudo, sendo maiores em superfície, decrescendo em profundidade.

Para a coleta de fevereiro/2010, o tratamento CC apresentou os maiores valores de H+Al na profundidade de 0-10 cm (Figura 11). Já em novembro/2010, os tratamentos CC e CC-Q apresentaram os valores maiores de H+Al na profundidade de 0-10 cm (Figura 11).

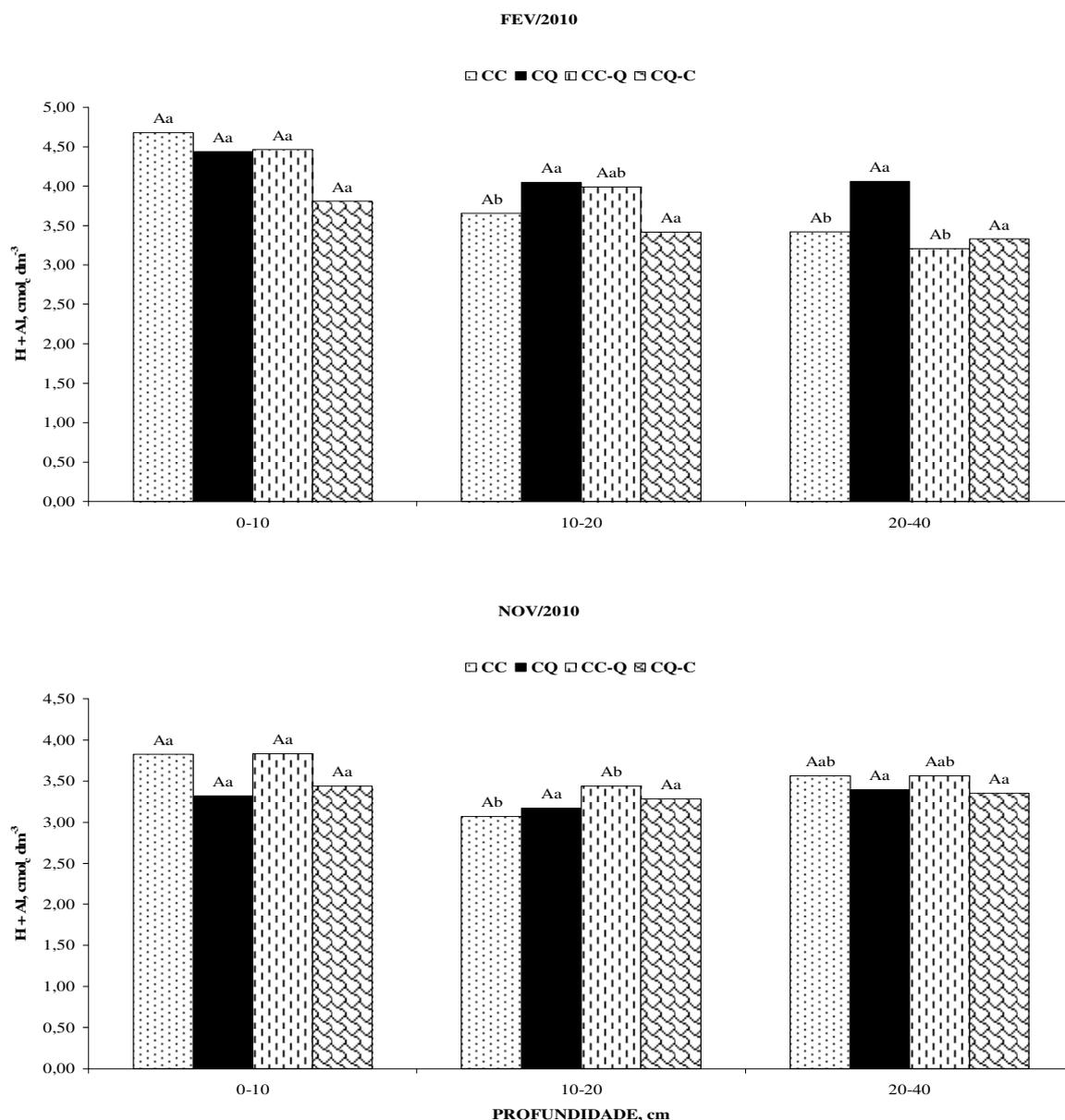
Resultados semelhantes, para a mesma área experimental, foram encontrados por Silva (2000). Segundo Mello et al. (1985), citado por Guedes (2002), os íons dissociáveis de diversas fontes, inclusive os que, provavelmente, surgiriam de ácidos orgânicos e fenóis aumentaram a acidez potencial do solo. Quanto a isso, Rheinheimer et al. (1998) relatam que a maior acidez potencial pode ser devida ao maior acúmulo de carbono, ocasionando maior atividade biológica, com liberação de compostos intermediários, que, ao atingirem o estado coloidal, podem dissociar-se liberando hidrogênio.

O tratamento CC-Q além de ter sua maior acidez potencial relacionada à presença do material em superfície, por influencia do manejo anterior, seria afetado também pela queima e dessa forma concordaria com os resultados de Heringer et al. (2002) e Jacques (2002) que, avaliando áreas de campo nativo (pastagem), observaram a tendência da acidez potencial ser maior na área submetida a queima.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
 * Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 10. Teores de alumínio trocável em função do tratamento e da profundidade.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
 * Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 11. Valores para acidez potencial (H+Al) em função do tratamento e da profundidade

De maneira geral, para a primeira coleta, os teores de cálcio foram maiores em superfície e decresceram com a profundidade (Figura 12). Na segunda coleta, os teores de cálcio não foram significativamente diferentes em nenhum dos tratamentos, mas para as profundidades estudadas destaca-se a camada de 0-10 cm do tratamento CC-Q. Os teores mantiveram o mesmo padrão observado anteriormente decrescendo em profundidade (Figura 12), corroborando os resultados obtidos por Silva (2000) e Mendoza et al. (2000) para o mesmo local de estudo.

Os maiores teores de cálcio foram encontrados, em fevereiro/2010, para os tratamentos CQ e CQ-C, e em novembro/2010 para os tratamentos CQ, CC-Q e CQ-C, evidenciando um acúmulo desse elemento em superfície (Figura 12). O que pode estar

relacionado tanto aos manejos antigos (cana queimada), quanto os novos (cana queimada-crua, cana crua-queimada) adotados na área, uma vez que em áreas submetidas a queima ocorre o acúmulo superficial de cinzas ricas em potássio, cálcio, magnésio e fósforo, cujos teores aumentam no solo após a queima (FASSBENDER, 1987). E em locais onde o manejo concorre para a manutenção da cobertura do solo ocorre ciclagem de nutrientes.

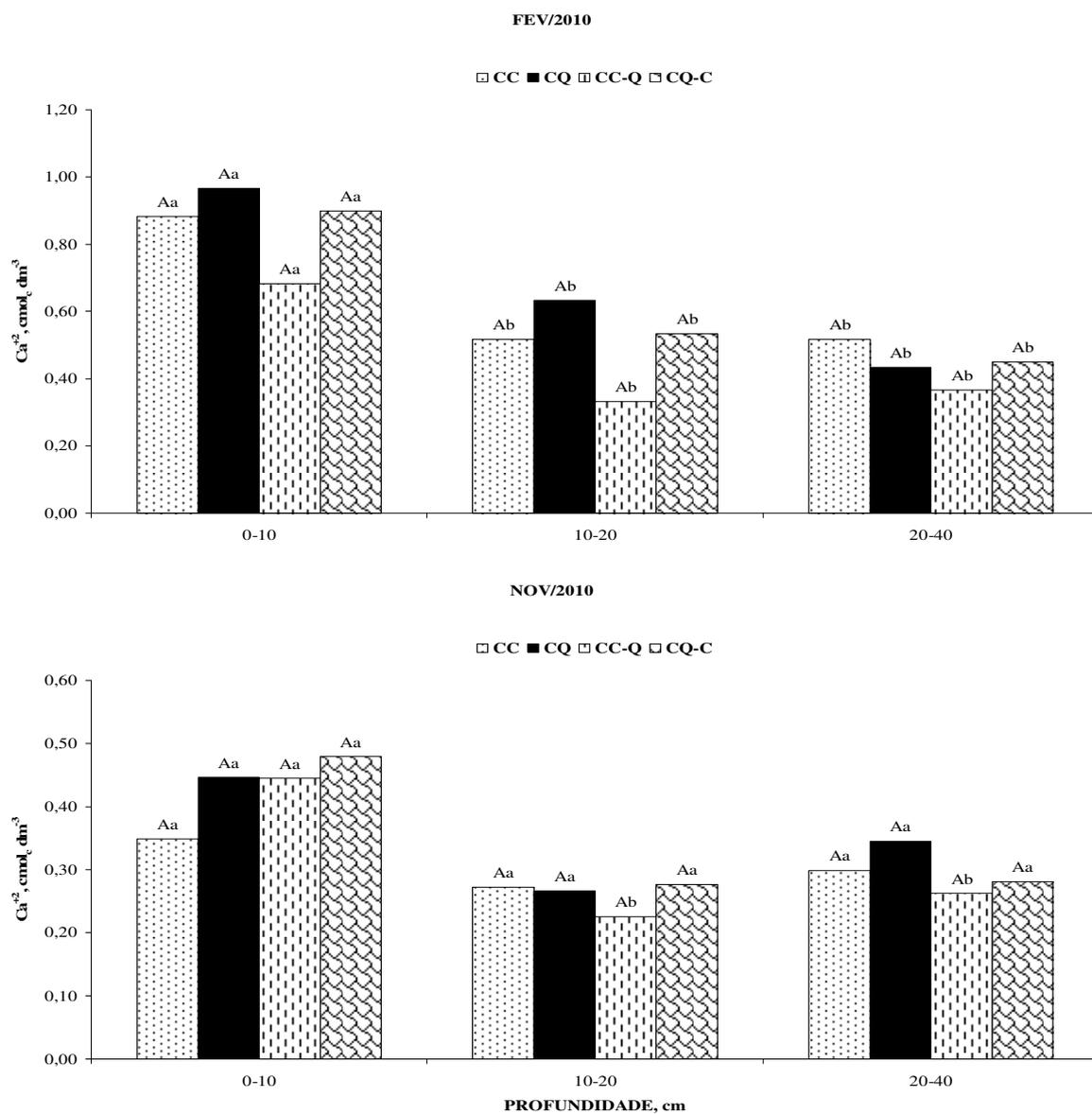
Os teores de magnésio não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos, para ambas as coletas, ou entre profundidades para um mesmo tratamento, para a coleta de fevereiro/2010 (Figura 13). Eles seguiram a mesma tendência observada para o cálcio, ou seja, foram maiores em superfície e menores em profundidade, sendo esta redução significativa na camada de 10-20 cm para o tratamento CC-Q.

O tratamento CQ-C, para a coleta de fevereiro, foi aquele que apresentou o maior teor de magnésio em superfície (Figura 13); para a coleta de novembro, houve pequena variação dos teores de magnésio em superfície, entre tratamentos, em especial para o tratamento CC-Q. Os dois casos podem estar relacionados à adição de cinzas dos anos sob queima do canavial, bem como a manutenção da palhada, uma vez que ambos os manejos fornecem magnésio ao sistema. O material em superfície estaria liberando este nutriente ao longo do ciclo favorecendo os teores em superfície. Silva (2000) avaliando a mesma área experimental encontrou resultados similares, além dele valores elevados de magnésio devido a manutenção da palhada também foram verificados por Mendoza (1996), Resende et al. (1998), Manhães (1996) e Orlando Filho et al. (1998).

Urquiaga et al. (1991) relataram que a manutenção da palha aumentou significativamente os teores de magnésio nos primeiros 20 cm de profundidade após 5 anos de cultivo, e que tais aumentos estariam relacionados à liberação gradual destes nutrientes durante a mineralização da palhada que cobre o solo. Já Dallago (2000) estudando o efeito de doses de cinza de caldeira verificou que as doses aplicadas, bem como os diferentes tempos de avaliação, promoveram mudanças expressivas sobre o K, P, Ca, Mg, pH, V% e CTC. Segundo Rheinheimer et al. (2002) a queima aumenta os teores de potássio, cálcio + magnésio e os valores de pH e diminui os teores de alumínio trocável.

Ainda, Martins et al. (1990) ao estudarem o efeito do desmatamento e do cultivo sobre as características do solo, em uma área da Amazônia, concluem que o complexo de troca iônica do solo é fortemente afetado pela queimada, já que grandes quantidades de bases são liberadas pelas cinzas ($Ca > Mg > K > Na$) na superfície. Enquanto, HERINGER et al. (2002) observaram redução dos teores de Mg em superfície em áreas de pastagem submetidas a queima bienal há mais de 100 anos.

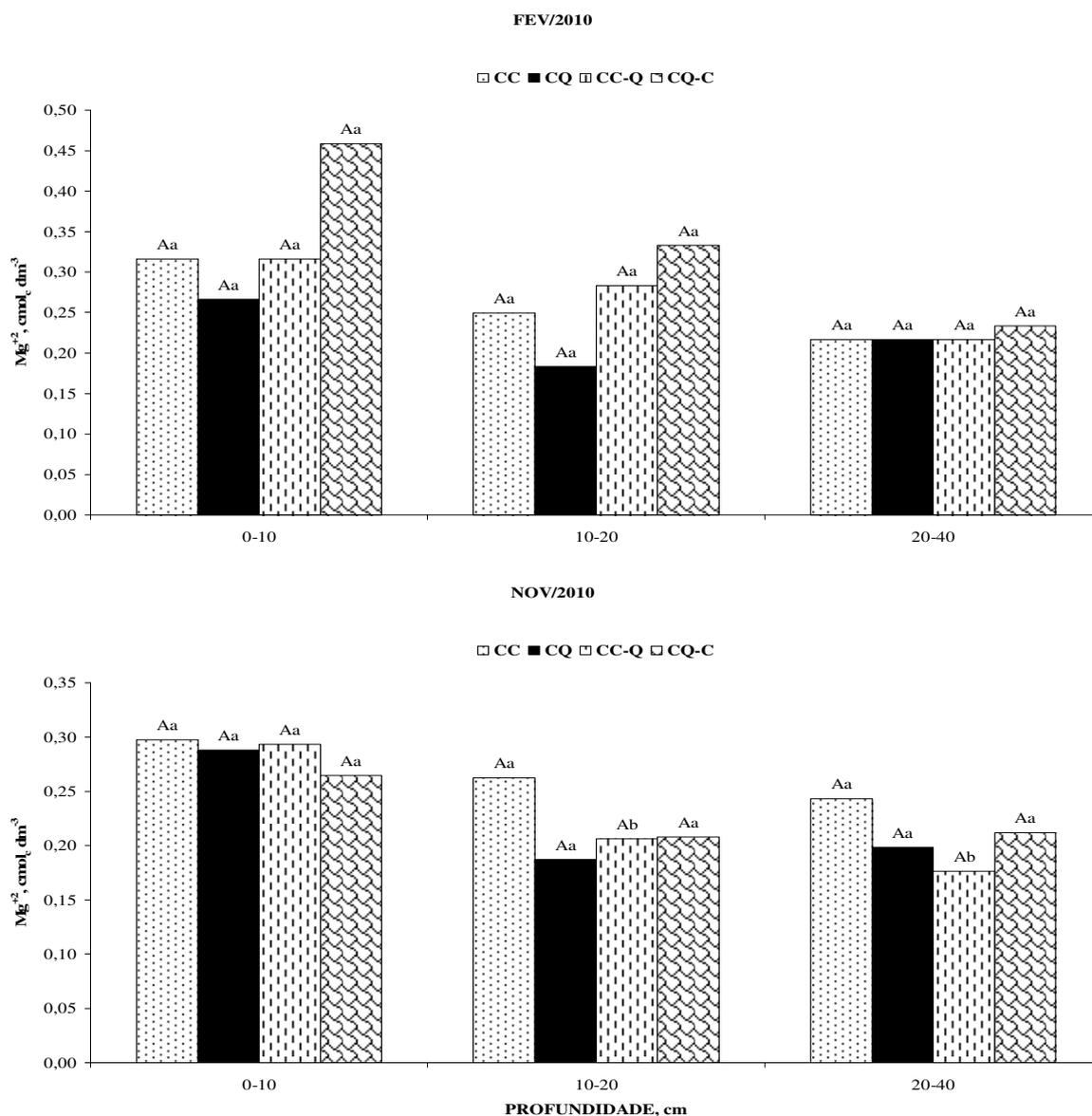
Um ponto comum entre as pesquisas é que o incremento nos teores de base no solo é dependente da composição do material que originou a cinza.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 12. Teores de cálcio trocável em função do tratamento e da profundidade.

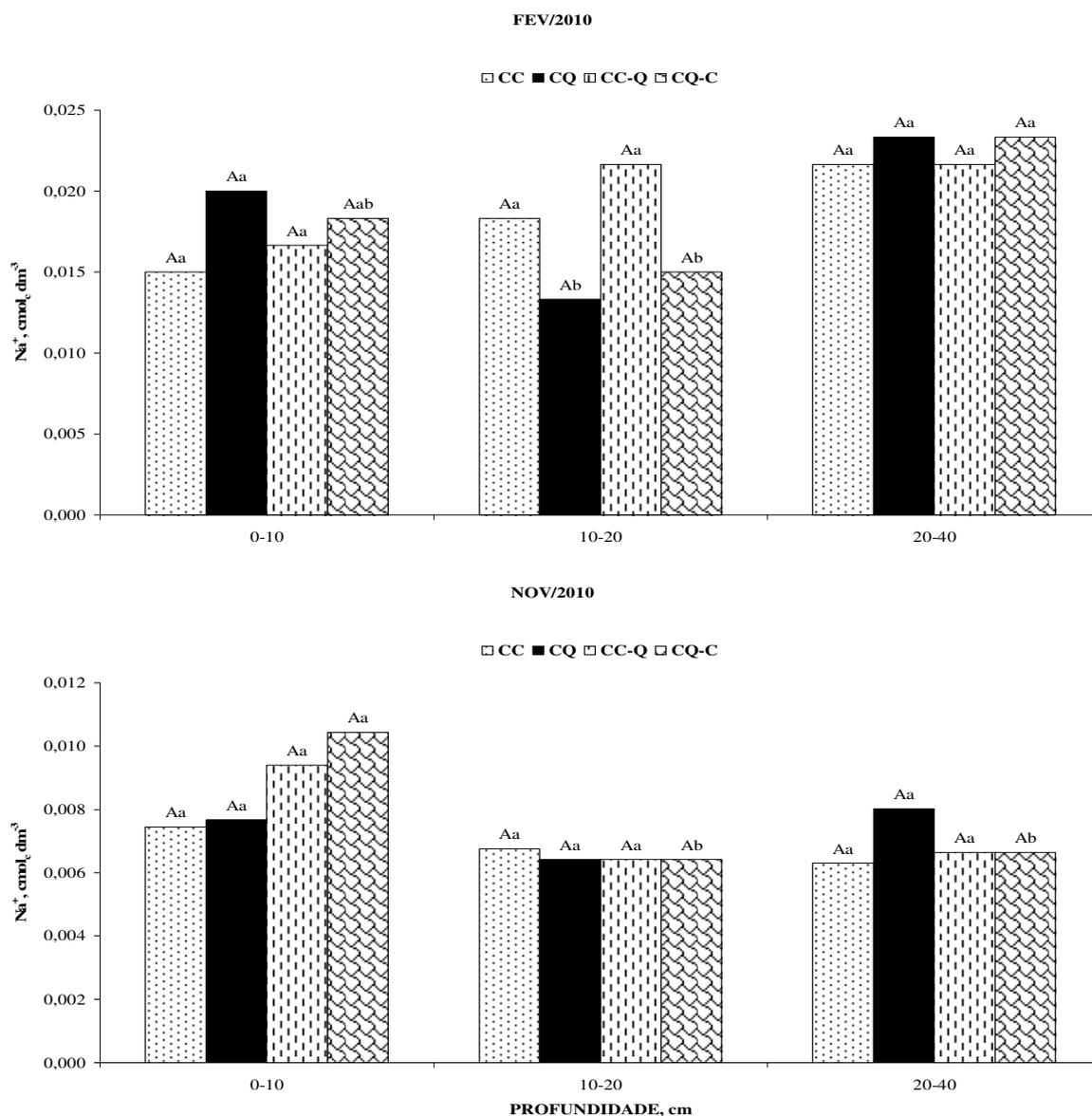


CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 13. Teores de magnésio trocável em função do tratamento e da profundidade.

Independente da coleta, os teores de sódio não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 14), o que é corroborado por estudos de Mendoza (1996) e Silva (2000). De maneira geral, em fevereiro, os teores mostraram-se maiores em subsuperfície (camada de 20-40 cm) (Figura 14), diferindo dos resultados encontrados por Mendoza (1996) e Silva (2000) em estudos anteriores na mesma área experimental, onde os teores decresciam em profundidade. Em novembro os teores mostraram-se maiores em superfície (Figura 14), também corroborado por Mendoza (1996) e Silva (2000).



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua

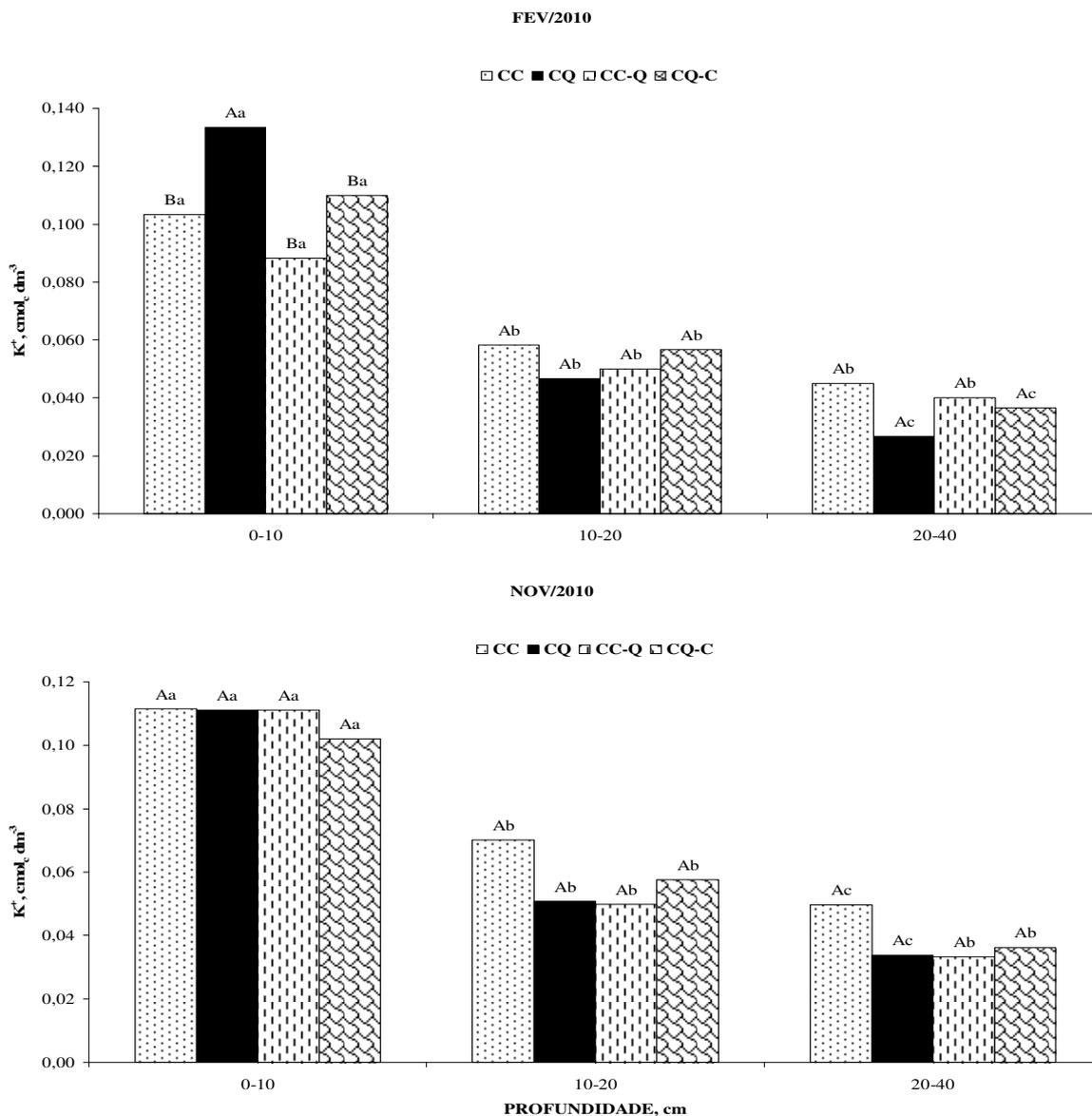
* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 14. Teores de sódio trocável em função do tratamento e da profundidade.

Para a primeira coleta, esta foi a única variável analisada cuja interação tratamento versus profundidade (contemplando todos os seus desdobramentos) apresentou significância. Os maiores valores de potássio observados, em todos os tratamentos, encontram-se na camada de 0-10 cm (Figura 15), que se explica pelo fato dos tratamentos aplicados à área serem condicionantes das propriedades químicas do solo, onde a manutenção de palhada promove a reciclagem dos nutrientes ao longo da decomposição do material, retornando quantidades significativas de elementos. Por sua vez, a própria queima adiciona cinzas e eleva os teores de potássio, principalmente em superfície, porém a longo prazo diminui a fertilidade do solo.

Houve ainda diferença significativa entre tratamentos, sendo o tratamento CQ aquele que apresentou, em relação aos demais analisando uma mesma profundidade (0-10 cm), os maiores teores de potássio (Figura 15). Mendoza et al. (2000) também observou este

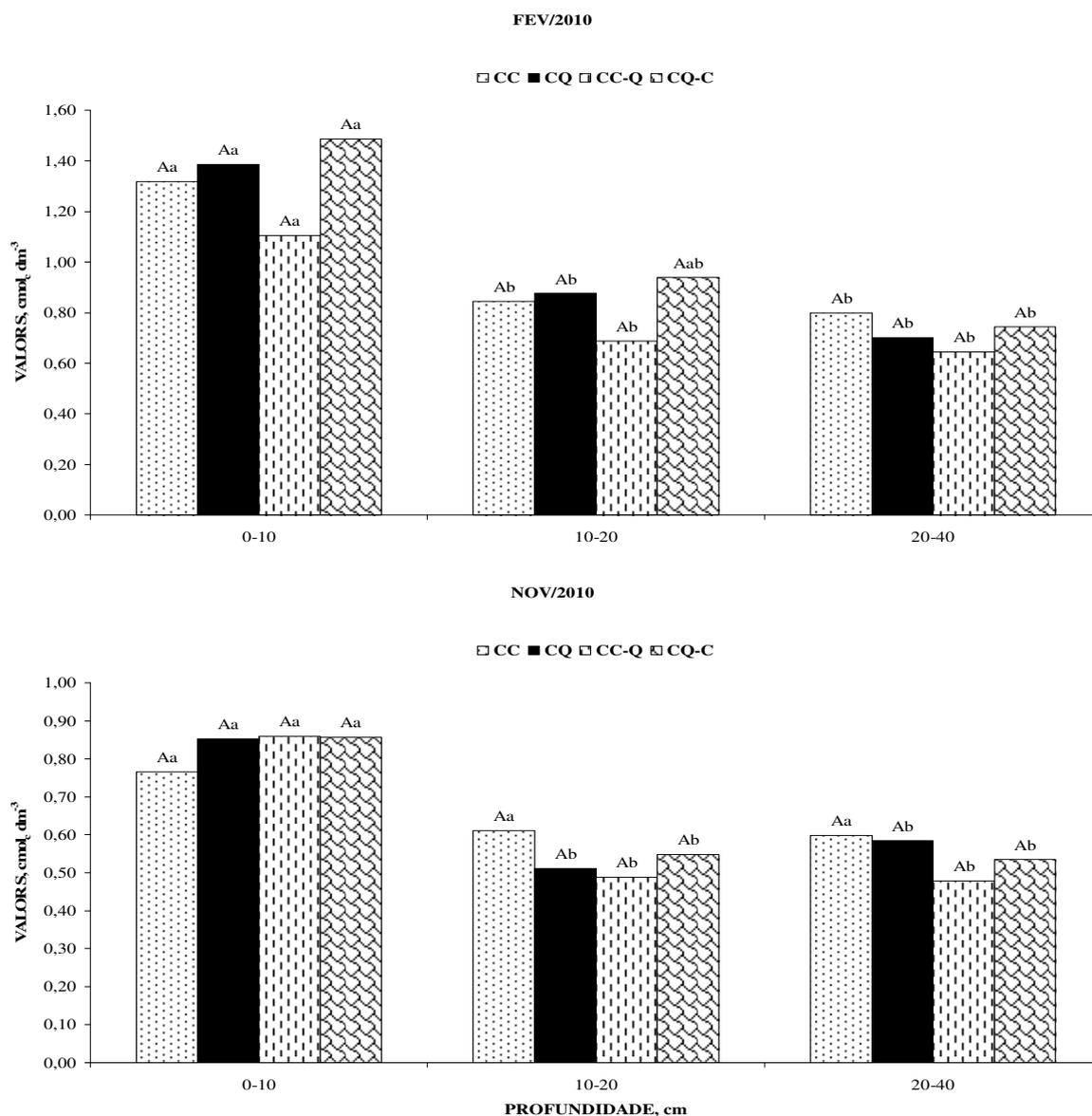
comportamento ao analisar os efeitos da colheita sem queima e com queima para o mesmo local de estudo. Os resultados confirmam que a disponibilidade de potássio nessa área é função do acúmulo de cinzas oriundas da queima (mineralização), estando de acordo com os resultados obtidos por Orlando Filho et al (1998).



* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 15. Teores de potássio trocável em função do tratamento e da profundidade.

Para a segunda coleta, não foram detectadas diferenças significativas entre tratamentos (Figura 15), mas os maiores valores de potássio, em todos estes, encontram-se na camada de 0-10 cm (Figura 15), sendo também explicado pelo fato dos tratamentos aplicados a área serem condicionantes das propriedades químicas do solo. Houve decréscimo em profundidade o que se assemelha aos resultados encontrados por Mendoza (1996) e Silva (2000) também para Argissolo Amarelo cultivado por longo tempo com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita em Linhares-ES.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 16. Valores da soma de bases (Valor S) em função do tratamento e da profundidade.

Alguns trabalhos com cana-de-açúcar mostram que mais de 70% do potássio é rapidamente liberado da palhada como, por exemplo, o estudo de Oliveira et al. (1999a) que analisando a influência da aplicação de uréia e vinhaça na degradação da palhada da cana-de-açúcar verificaram que a liberação dos nutrientes da palhada não era influenciada pelos tratamentos, havendo diferenças significativas apenas entre o tempo de deposição. Foi observado também que o potássio foi o elemento liberado em maior quantidade pela palhada havendo, em média, liberação de 93% do conteúdo inicial. Essa expressiva liberação, também observada por Oliveira et al. (1999b) deve-se ao fato desse elemento não ser constituinte de compostos na planta, apresentando-se na forma iônica (MALAVOLTA et al., 1989), facilitando sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática.

Yaday et al. (1987), citado por Oliveira et al. (1999a), verificaram que a palha da cana-de-açúcar, incubada a 28°C, liberou 35% do potássio em 15 dias de incubação, sendo que - ao final de 120 dias - 70% de todo o K existente no resto cultural havia sido liberado.

Nesse estudo, apesar de baixos os valores, em todas às vezes onde foram encontradas diferenças estatisticamente significativas para teores de K esses se associaram aos tratamentos onde a queima é praticada previamente a colheita. Outra questão que chama a atenção é o fato de o K ser um elemento extremamente móvel e, sendo assim, de fácil lixiviação (perda) no solo, porém neste estudo isto não ocorre ou acontece em taxas menores que a de reposição do elemento, uma vez que os maiores valores sempre foram encontrados em superfície.

Os teores de bases do solo (Valor S), independente da amostragem, decresceram em profundidade (Figura 16), seguindo o padrão observado por Mendoza (1996) e Silva (2000) em estudos anteriores no mesmo local. O aumento em superfície tem relação com os maiores teores de cálcio, magnésio e potássio também encontrados na profundidade de 0-10 cm. O acúmulo desses nutrientes em superfície e, conseqüentemente, a elevação da soma de bases pode relacionar-se a queima cujas cinzas aumentam a saturação de bases (SCHACHT et al., 1996, citado por HERINGER et al., 2002), e ao retorno de palha que parece contribuir para um acréscimo na quantidade de bases no solo (URQUIAGA et al., 1991; HERINGER et al., 2002). Mesmo não havendo diferenças significativas entre os tratamentos o que apresentou as maiores médias, para a primeira camada avaliada na coleta de fevereiro, foi o CQ-C, que coincide com os elevados valores de magnésio e cálcio.

Mesmo não havendo diferença significativa entre os tratamentos, os maiores valores da CTC do solo (Valor T) foram observadas no tratamento CC, em fevereiro, e nos tratamentos CC e CC-Q, em novembro, para a profundidade de 0-10 cm (Figura 17), onde a manutenção da palhada sobre o solo (CC) e sua posterior mineralização elevou o valor H (H+Al) devido aos maiores teores de ácidos orgânicos no solo.

A elevação da acidez potencial pela queima (CC-Q) foi relatada por Heringer et al. (2002), Jacques (2002) e Heringer e Jacques (2002) ao estudarem o efeito da queima sobre as propriedades químicas em campos nativos no sul do Brasil.

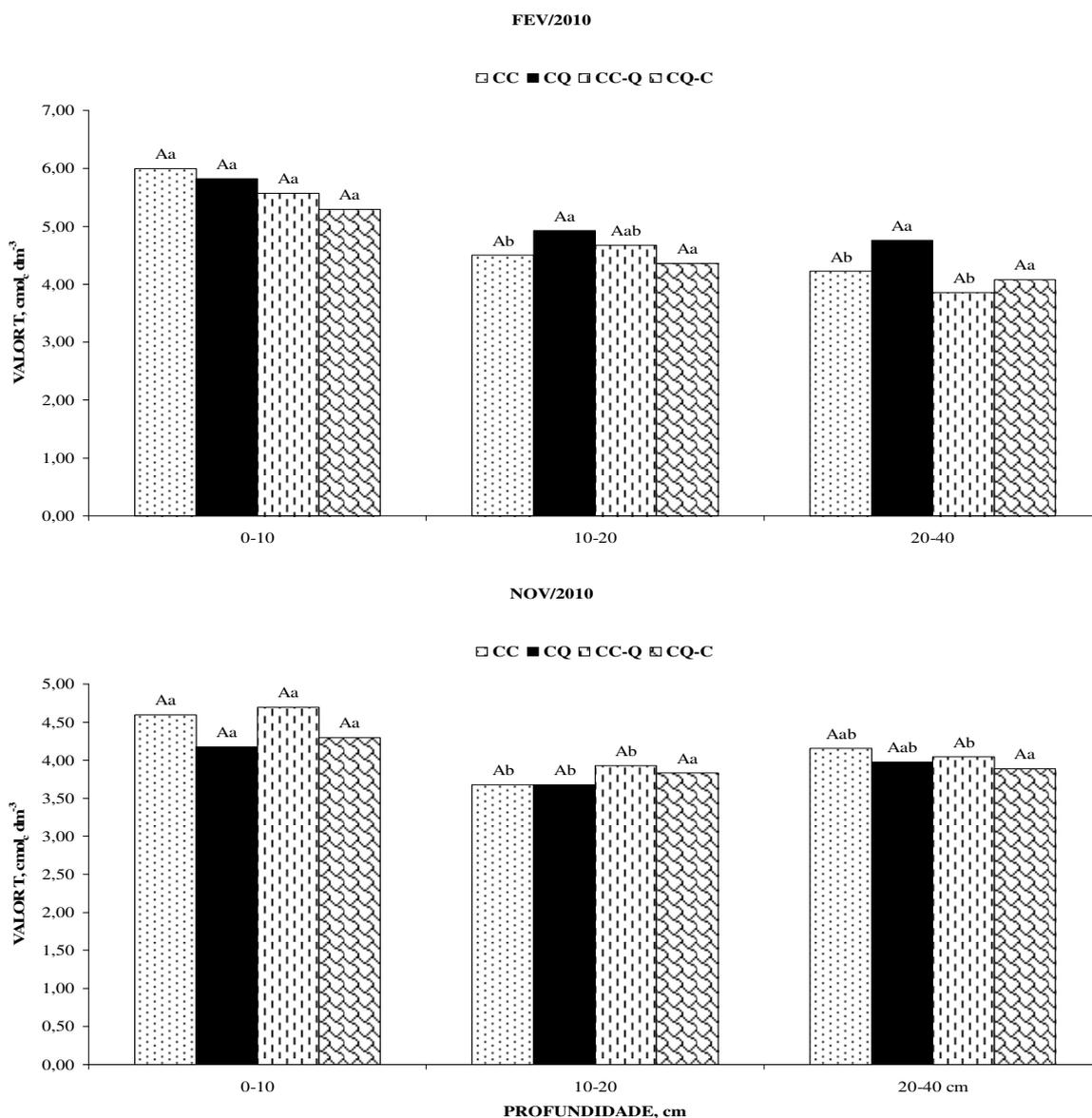
Além disso, houve redução da CTC do solo com o aumento de profundidade (Figura 17), fato atribuído a redução dos teores de matéria orgânica do solo, que é responsável por grande parte da CTC em solos de tabuleiro.

Em geral, o valor V apresentou maiores valores em superfície, decrescendo com a profundidade, sem diferenças entre os tratamentos (Figura 18). Tal comportamento foi observado em estudos anteriores de Mendoza (1996) e Silva (2000). Em novembro/2010 houve significância para a camada de 0-10 cm dos tratamentos CC-Q e CQ-C.

A saturação por bases do solo (Valor V) apresentou, em média, pequena elevação no tratamento CQ-C, em fevereiro, e no tratamento CQ, em novembro, na profundidade de 0-10 cm (Figura 18). Esse resultado seria explicado pelos maiores teores de cálcio e magnésio (primeira coleta) e de potássio (segunda coleta) encontrados, refletindo no valor S, e os menores valores para a CTC (valor T), quando comparado aos demais tratamentos.

Assim como observado por Silva (2000) todas as camadas analisadas apresentaram valores de saturação por bases abaixo de 50% condizendo com a característica dos solos de tabuleiros apresentarem baixa capacidade de troca catiônica (OLIVEIRA et al., 1992).

De forma similar aos estudos (mesma área experimental) de Mendoza (1996) e Silva (2000) os teores de fósforo decresceram em profundidade (Figura 19), independentemente da coleta. Com exceção dos tratamentos CQ-C, em fevereiro, e CC, em novembro, houve significância na comparação entre profundidades para os demais tratamentos.



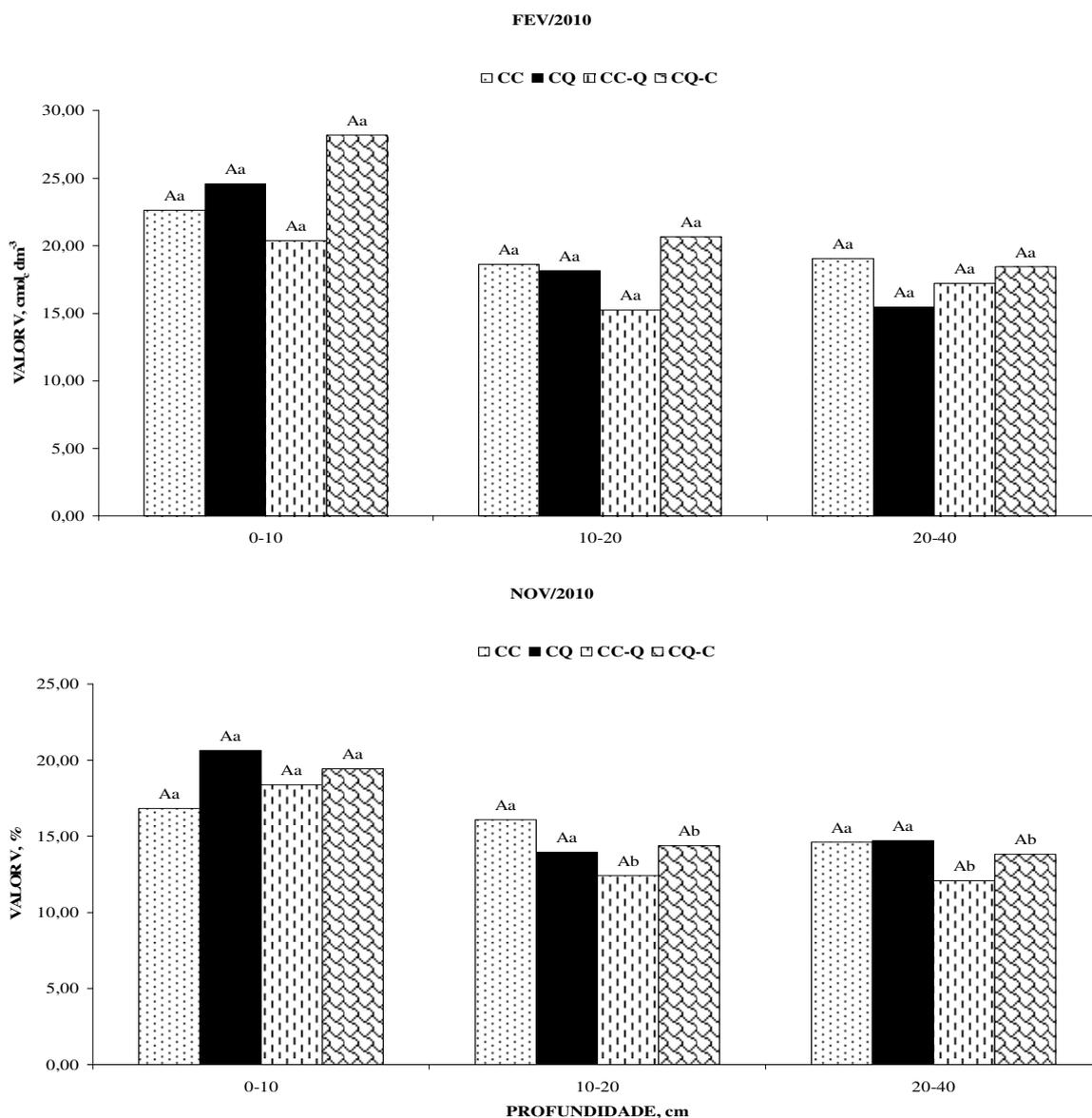
CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 17. Valores da CTC (Valor T) do solo em função do tratamento e da profundidade.

Apesar de não haver diferenças significativas entre tratamentos (Figura 19), os maiores valores - na profundidade de 0-10 cm - são observados para os tratamentos CC-Q e CQ, em fevereiro, e CC-Q e CQ-C, em novembro, confirmando que a queima da palhada é a responsável pela elevação dos teores de fósforo no solo. Christensen (1976) e Willms et al. (1981) encontraram aumento na disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio em função da adição de cinzas ao sistema, não deixando dúvida de que a queima promove imediata liberação de nutrientes para o solo (ZANINE e DINIZ, 2006).

Embora a queima tenha elevado os teores de fósforo, potássio e magnésio, a longo prazo reduz a fertilidade do solo, já que as cinzas são susceptíveis a perdas por lixiviação e/ou erosão (SANZONOWICZ, 1986), principalmente em solos com predomínio de argila de baixa atividade e reduzidos teores de matéria orgânica, como são os solos de tabuleiro (MENDOZA et al., 2000).

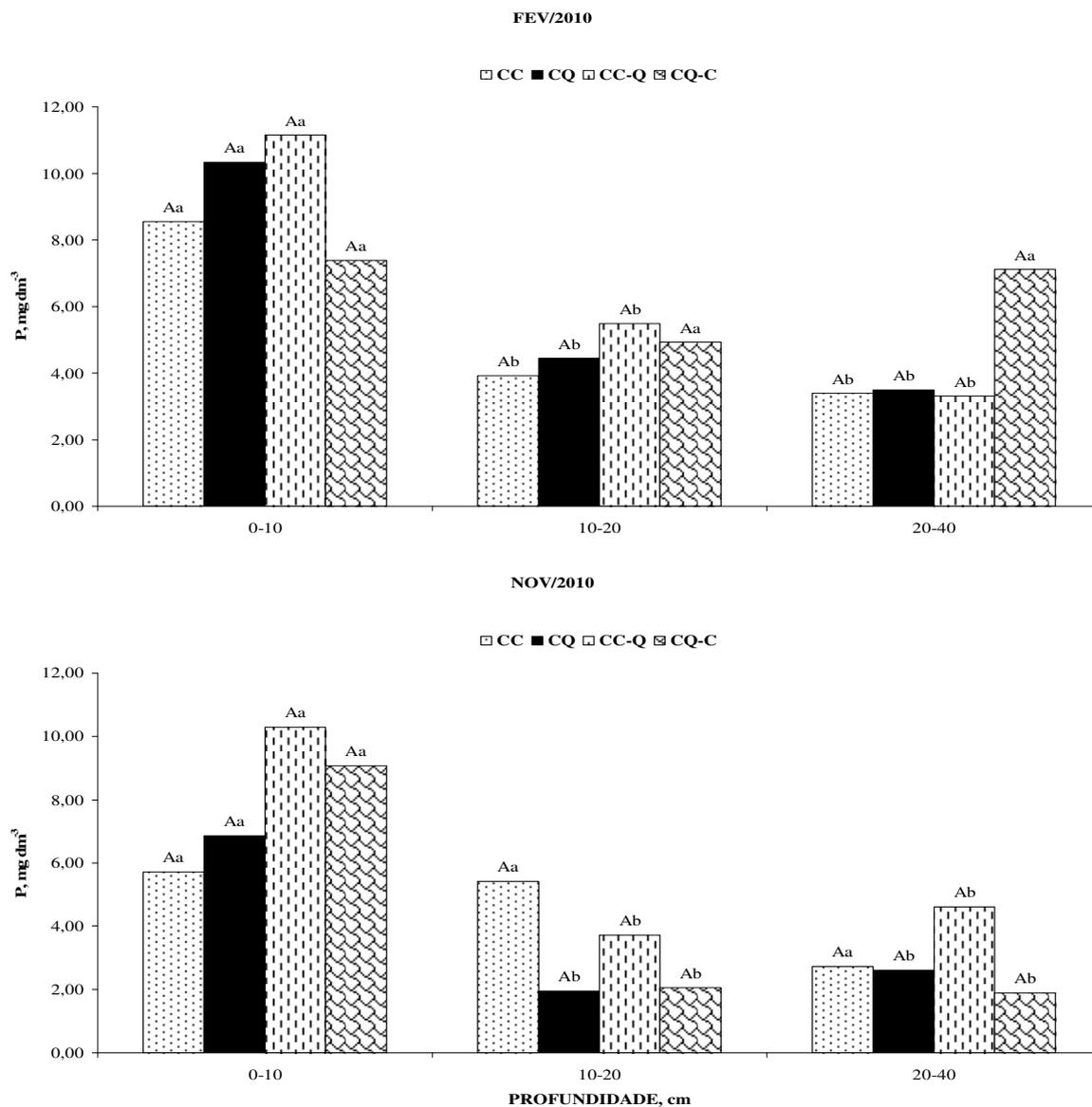


CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
 * Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 18. Valores da saturação por bases (Valor V) do solo em função do tratamento e da profundidade.

Destaca-se, assim como para os teores de C, o comportamento do P disponível que apresentou maiores teores em fevereiro/2010 e decréscimos em novembro/2010. Esse decréscimo pode estar ligado à biota do solo em razão da pronta disponibilidade de nutrientes quando há a queima, bem como a competição pelo nutriente entre cultura e esses organismos. Neste aspecto, ressalta-se ainda que para os tratamentos onde os teores de P foram maiores, CQ e CC-Q, os teores de C observado foram menores e vice-versa, o que pode ser justificado pelo fato da combustão promover a mineralização do material depositado no solo e, consequentemente, rápida fertilização promovida pelas cinzas em áreas submetidas a queima.

Neste estudo, se observados os resultados tanto deste capítulo, quanto do anterior, fica evidente que não houve alteração de valores que indicassem a perda das cinzas e, consequentemente, dos elementos a ela relacionados por nenhuma das vias supracitadas.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula (para tratamento) e minúscula (para profundidade) não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,10$). Parâmetros obtidos em diferentes épocas de amostragem foram avaliados individualmente.

Figura 19. Teores de fósforo disponível em função do tratamento e da profundidade.

É importante salientar que durante o tratamento estatístico dos dados foram verificadas significâncias para a fonte de variação bloco, justificando a escolha do delineamento experimental. Além disso, estas diferenças ocorridas indicam que os atributos avaliados apresentam grande heterogeneidade espacial, o que pode ser confirmado por observações em campo onde ao se caminhar pela área são percebidas manchas de solo e suaves desníveis entre parcelas e/ou blocos. Sendo assim, tais condições podem estar influenciando os resultados encontrados, afinal as condições de solo interferem diretamente na lixiviação/adsorção de bases, na retenção de umidade, na produtividade e na distribuição de organismos no solo, dentre outros aspectos. Ocorre ainda que quando a variabilidade é grande, as diferenças são diluídas no coeficiente de variação não sendo detectadas pelos testes estatísticos.

4.6 CONCLUSÕES

Não houve efeito dos tratamentos para a maioria dos atributos avaliados.

De forma geral, os maiores valores para carbono orgânico, cálcio, magnésio, acidez potencial e valores S e T foram observados para os tratamentos sem queima (CC e CQ-C).

Para os tratamentos com queima (CQ e CC-Q) as cinzas influenciaram a disponibilidade de cálcio, potássio e fósforo, evidenciando que o material que sofreu combustão é rico nesses elementos.

Entre as coletas detectou-se rápido decréscimo nos teores de carbono orgânico que foi atribuído a maior taxa de decomposição em função de condições edafoclimáticas e atividade biológica.

Os maiores teores de potássio, independente dos tratamentos, encontram-se na camada superficial do solo.

5 CAPÍTULO III

EFEITO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA SOBRE A DINÂMICA DA MACROFAUNA EDÁFICA EM UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

5.1 RESUMO

A questão climática associada à alta dos combustíveis fósseis leva a inclusão de fontes renováveis de energia na matriz energética mundial. Assim, o Brasil – maior produtor mundial da cultura encontra-se em cenário favorável. A proibição da prática da queima no manejo da cana-de-açúcar torna necessário o estudo dos efeitos da manutenção ou eliminação da palhada na superfície do solo. Foram avaliados neste capítulo os impactos dos métodos de colheita sobre a macrofauna edáfica, um conhecido indicador da qualidade do solo que detecta as alterações ocorridas no sistema e indica alternativas de manejo. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com seis repetições, sendo cada bloco composto por quatro parcelas que correspondiam aos tratamentos CC, CQ, CC-Q e CQ-C. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro e julho de 2010. Os animais foram classificados em grandes grupos taxonômicos e contabilizados. Avaliaram-se os índices ecológicos (Shannon, Pielou e riqueza) e a densidade total de indivíduos e grupos. Os dados foram analisados por ferramentas de estatística não paramétrica. Os índices de diversidade de Shannon e riqueza foram mais eficientes que a densidade total na avaliação da influência dos sistemas de colheita da cana, estando os seus maiores valores relacionados às áreas colhidas sem queima. Houve dominância do grupo social Formicidae em todos os tratamentos.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Macrofauna edáfica. TSBF.

5.2 ABSTRACT

The climate issue associated with the high fossil fuels leads to the inclusion of renewable energy in global energy matrix. Thereby, Brazil - world's largest sugarcane producer is in a favorable scenario. The ban on burning practices in the management of sugar cane makes necessary study the effect of maintenance or disposal of cane stubbles on the soil surface. Were evaluated in this chapter the impacts of harvesting methods on the macrofauna, a known indicator of soil quality that detects changes in the system and indicates management alternatives. The experimental design was randomized blocks with six replications, with each block consisting of four parcels that corresponded to treatments CC, CQ, CC-Q and CQ-C. Samples were collected in February and July 2010. The animals were divided into major taxonomic groups and accounted. Were evaluated ecological indexes (Shannon, Pielou and richness) and total density of individuals and groups. Data were analyzed by nonparametric statistical tools. The indexes of Shannon diversity and richness were more efficient than the total density to evaluate the influence of cane harvesting systems, with the highest values related to areas harvested without burning. There was dominance of the social group Formicidae in all treatments.

Key words: Sugar cane. Soil macrofauna. TSBF.

5.3 INTRODUÇÃO

A queima do canavial causa uma série de problemas ambientais, em particular a entomofauna associada a cultura (ALMEIDA FILHO, 1995). Esta é afetada diretamente pelo fogo, ou indiretamente pela remoção da camada de palha que protege o solo ficando este exposto a variações de temperatura, pela incidência solar, e umidade, devido maiores taxas de evaporação. Em oposição à queima, que afeta negativamente a fauna, a manutenção de cobertura no solo contribui para a melhoria no ambiente induzindo maior ocorrência de organismos (aumento da densidade e da diversidade de grupos) pela oferta de alimento e novos abrigos.

Ainda, os distúrbios físicos associados ao cultivo intensivo de lavouras agrícolas levam a perda de matéria orgânica, redução na diversidade florística e ausência de cobertura vegetal em parte do ano (MARÇAL, 2009).

Biologicamente, as alterações do solo provocadas pela agricultura resultam em seleção de organismos e alteram suas abundância e diversidade. Ainda, segundo Merlim (2005), apesar do considerável número de trabalhos a respeito das funções da fauna de solo, bem como das respostas a interferências antrópicas, estes se concentram em determinadas regiões, particularmente nas de clima temperado. O número de trabalhos em regiões tropicais está aquém do necessário. No Brasil, o número é irrelevante frente à diversidade de ecossistemas do país e ao desconhecimento da própria biodiversidade do solo.

Por sua íntima associação com processos que ocorrem na interface serrapilheira-solo (decomposição) (CORREIA e PINHEIRO, 1999) e sensibilidade aos diferentes manejos, os invertebrados de solo refletem o quanto uma prática de manejo pode, ou não, ser considerada conservadora pela avaliação da estrutura e fertilidade do solo. Tais características justificam sua utilização como indicadora das modificações do ambiente.

O conhecimento dos grupos da fauna do solo e das funções por eles desempenhadas (fragmentação, controle da população microbiana, alterações estruturais do habitat etc) permite um manejo direto (inserção de grupos em um ambiente) ou indireto (favorecimento de habitats) (SNYDER e HENDRIX, 2008) favorecendo uma melhora do ambiente do solo que resulte em maiores produções, garantindo a sustentabilidade do sistema.

Assim, justifica-se o estudo cujo objetivo é avaliar a influência do manejo da colheita da cana-de-açúcar sobre a dinâmica populacional da macrofauna edáfica em duas épocas de coleta: fevereiro e julho de 2010.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Localização e descrição da área experimental

O trabalho foi realizado em área cedida pela LASA no município de Linhares – ES, situado entre os paralelos 19° 06' e 19° 18' Sul e os meridianos 39° 45' e 40° 19' Oeste. A altitude local é de 28m. De acordo com a divisão regional do Estado, o município se engloba na zona estratigráfica Baixo Rio Doce (EMBRAPA/SNLCS, 1978).

A região é caracterizada pela ocorrência de extensas áreas com relevo suave ondulado onde uma série de baixos platôs compõe o chamado “relevo tabuliforme”. Os declives raramente são superiores a 3%. A vegetação primária remanescente na região é representada pela Floresta Tropical Subperenifólia. O clima regional corresponde na classificação de Köppen, ao tropical úmido com período chuvoso no verão e seco no inverno (Aw). Em 2009, o regime hídrico foi atípico (ver nota de rodapé 1 no CAPÍTULO II).

O experimento foi instalado em maio de 1989 na fazenda Duas Lagoas, área 8, quadra 21, na destilaria LASA em Linhares - ES, em solo classificado como Argissolo Amarelo textura arenosa/média (RAVELLI NETO e LIMA, 1987). O material de origem do solo é constituído por sedimentos argilo-arenosos pré-edaforizados do Terciário, da Formação Barreiras. Além da presença de horizontes coesos, os solos que predominam nos tabuleiros são, em geral, arenosos em superfície, e têm baixos teores de matéria orgânica e nutrientes e baixa capacidade de retenção de água (SOUZA e VIEIRA NETO, 2003).

5.4.2 Cultivar de cana-de-açúcar (características)

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada é a SP 79-1011 que, segundo Cardoso (2000), citado por Ramos (2006), apresenta as seguintes características: maturação média, alto teor de sacarose, média exigência em fertilidade do solo, ótima para solo arenoso, boa para solo argiloso; raro florescimento, pouco chochamento, bom perfilhamento, boa brotação de soqueiras, médio a alto teor de fibras, resistente a escaldadura, carvão e mosaico, fácil despalha, difícil tombamento, e, alta produtividade.

5.4.3 Delineamento experimental e tratamentos

A área experimental consta de seis blocos (conforme Figura 5 do CAPÍTULO II), sendo cada bloco composto por quatro parcelas. As parcelas têm área de 286m² cada. Cada uma contém 11 linhas com 20,0m de comprimento, espaçadas de 1,30m. Duas linhas de cada lado da parcela são consideradas como bordadura. A implantação da cultura foi feita utilizando-se o cultivo mínimo e a adubação utilizada para todas as áreas foi uniforme, seguindo a rotina da usina, sendo aplicados no plantio 500kg ha⁻¹ da formulação 05-20-20, e na soca 500kg ha⁻¹ da formulação 20-00-30.

O desenho experimental utilizado é o de blocos ao acaso com um fator composto por quatro níveis, sendo constituídos de formas de renovação do canavial, onde, em uma das parcelas, sempre é cultivada cana colhida sem queima, em outra, cana sempre colhida com queima, e nas outras duas, se alterna por ocasião da renovação cana crua/cana queimada e cana queimada/cana crua.

O experimento implantado em maio de 1989 teve a primeira renovação em setembro de 1997, onde foram inseridos tratamentos com formas de renovação do canavial, o que foi acompanhado por Silva (2000). Em 2005, ocorreu a segunda renovação (chamada de renovação em nível de campo), experimento avaliado por Tavares (2007).

As amostragens de fauna edáfica constituíram a época chuvosa (fevereiro/2010) e a seca (julho/2010). Mas considerando o regime hídrico atípico durante o ano em que as coletas

foram realizadas não foram definidos períodos ou épocas. Houve apenas discriminação dos meses de coleta (fevereiro e julho/2010).

5.4.4 Métodos de amostragem

A macrofauna foi determinada por meio do método manual dos monólitos de solo recomendado pelo Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) descrito por Anderson e Ingram (1993). Este método compreende as seguintes etapas: 1) retirada de blocos (monólitos) de solo; 2) extração manual dos animais; 3) conservação dos animais; 4) contagem e identificação dos animais. Para tal, retira-se a amostra de serapilheira contida na área demarcada pelo gabarito e as amostras do solo localizado na projeção do gabarito metálico (25 x 25 cm). As amostras de solo foram separadas em camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, destorroadas e reviradas manualmente em caixas plásticas. Com uma pinça foi feita a captura dos organismos que foram acondicionados em recipientes etiquetados contendo solução preservativa de álcool 70% (DEVIDE e CASTRO, 2009; AQUINO, 2001).

5.4.5 Métodos analíticos

A triagem e identificação da fauna do solo (Figura 20) foram feitas em laboratório e se deram em nível de grupos taxonômicos, neste caso, ordem (DEVIDE e CASTRO, 2009; AQUINO, 2001) de acordo com descrições fornecidas por Costa et al. (1988), Csiro (1991) e Dindal (1990). Foi registrado o número de indivíduos pertencentes a cada ordem.

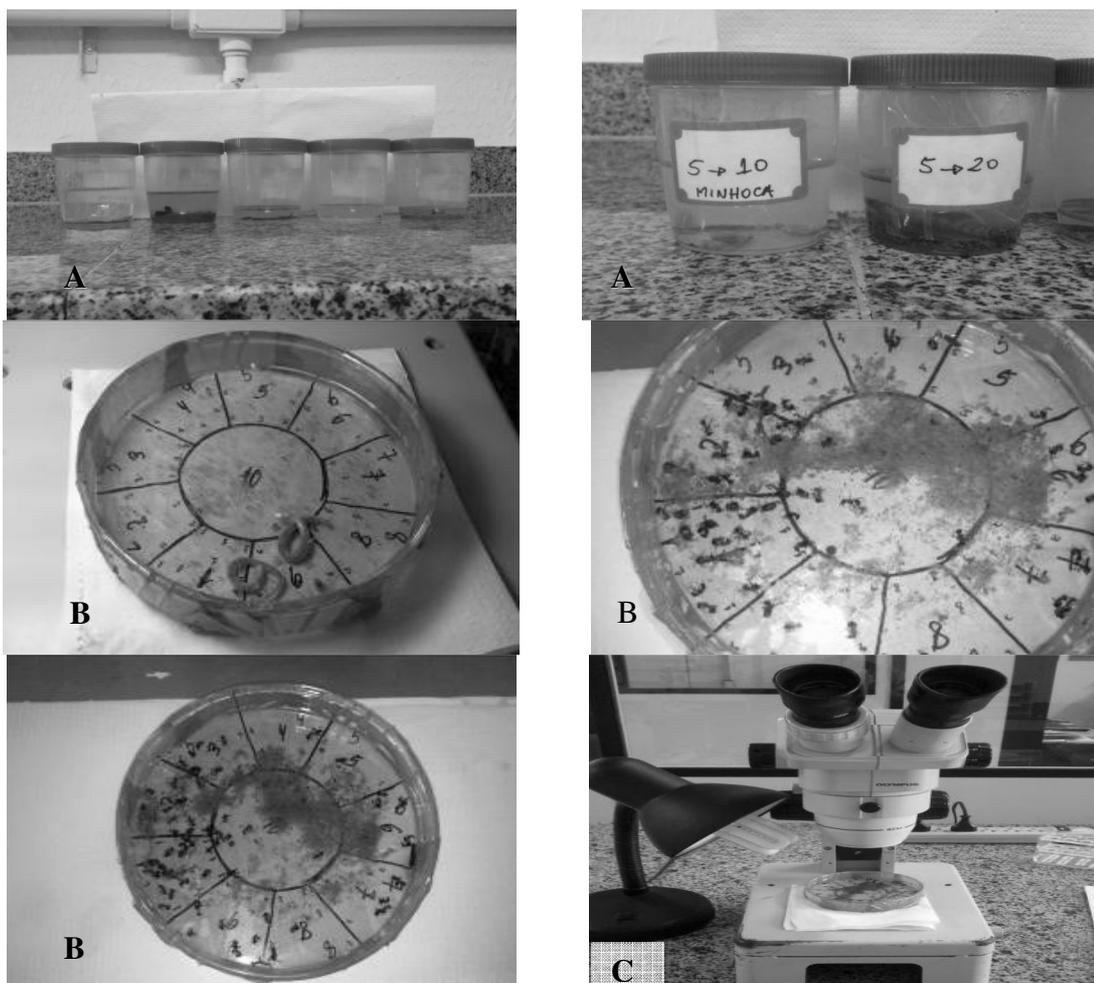


Figura 20. Triagem da macrofauna edáfica. **A-** Fauna armazenada e conservada; **B-** Preparo do material para observação em lupa; **C-** Placa de Petri em lupa com os indivíduos a serem classificados.

5.4.6 Interpretação dos dados e tratamento estatístico

Para analisar o papel de cada grupo na comunidade (macrofauna) utilizou-se:

- o índice de diversidade de Shannon ($H = - \sum p_i \log p_i$; onde $p_i = n_i/N$; n_i = densidade de cada grupo; N = somatório do número de indivíduos m^{-2});
- a riqueza total (número de grupos nas diferentes amostras);
- a riqueza média (número médio de grupos presentes em cada área);
- o índice de equitabilidade de Pielou ($H \log S^{-1}$); e,
- as densidades dos diferentes grupos e do total de indivíduos por tratamento e época que foram estimadas extrapolando-se as médias para indivíduos m^{-2} , associadas aos respectivos erros padrões.

Para os resultados (contagem de indivíduos), em cada profundidade, foi feita a avaliação da normalidade dos dados (teste de Lilliefors, 5%) e homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran, 5%) no programa estatístico SAEG 9.1, verificou-se que os dados não atendiam as pressuposições básicas da análise de variância, isto é, não eram normais nem homogêneos. Como alternativa realizou-se a transformação dos dados através da **raiz quadrada** (dado + 0,5). Havendo ainda a violação das pressuposições os resultados foram submetidos a estatística não paramétrica. Para a comparação entre tratamentos e

profundidades aplicou-se o teste de Friedman a 5% de probabilidade. Este teste é usado quando se tem delineamento em blocos ao acaso com três ou mais tratamentos.

Já para a comparação entre as épocas em que as coletas foram realizadas (fevereiro e julho), o teste não paramétrico utilizado foi o do Sinal, aplicado para delineamentos em blocos ao acaso com apenas dois tratamentos. Ambas as análises não paramétricas foram feitas usando as ferramentas estatísticas contidas no programa STATISTICA 7.0 (StatSoft).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Índices ecológicos

Na Tabela 14 encontra-se os valores da densidade total de indivíduos (ind m^{-2}) e índices ecológicos para as duas épocas (fevereiro e julho/2010) de amostragem da fauna.

Tabela 14. Densidade total da macrofauna edáfica⁽¹⁾ (ind m^{-2}) e índices ecológicos em função do tratamento.

Tratamento	Ind $\text{m}^{-2} \pm$ Erro Padrão	Riqueza Média	Riqueza Total	Índice de Shannon	Índice de Pielou
Fevereiro de 2010					
CC	173 \pm 69 Aba	3 Aa	7	1,53	0,54
CQ	20 \pm 5 Bb	1 Ba	3	1,38	0,87
CC-Q	85 \pm 50 Aba	1 Aba	3	0,79	0,50
CQ-C	287 \pm 112 Aa	3 Aa	9	1,79	0,57
Julho de 2010					
CC	839 \pm 422 Aa	3 Aa	9	0,49	0,15
CQ	328 \pm 248 Aa	3 Aa	8	0,76	0,25
CC-Q	628 \pm 490 Aa	2 Aa	6	0,99	0,38
CQ-C	437 \pm 175 Aa	4 Aa	11	1,14	0,33

* CC – cana crua CQ – cana queimada CC-Q – cana crua-queimada CQ-C – cana queimada-crua

⁽¹⁾ Médias de 6 repetições. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Friedman ($\alpha = 0,05$). Valores seguidos de mesma letra minúscula, entre coletas, não diferem entre si pelo teste do Sinal ($\alpha = 0,05$).

As densidades de invertebrados presentes nos diferentes compartimentos avaliados (palhada e solo) variaram de 20 ind m^{-2} para o tratamento com queima (CQ), em fevereiro, à 839 ind m^{-2} no tratamento cana crua (CC), no mês de julho, coincidentemente tais valores são relativos aos manejos mais antigos (Tabela 14).

Houve diferença significativa entre tratamentos na densidade total da macrofauna, considerando apenas a amostragem de fevereiro/2010, onde os tratamentos CQ-C e CQ apresentaram, respectivamente, a maior e a menor densidade total. Em relação a amostragem de julho/2010 não foram verificadas diferenças estatísticas, o que também foi observado por Moço et al. (2005). Na comparação entre coletas apenas o tratamento CQ diferiu estatisticamente tendo os maiores valores encontrados para a coleta de julho/2010.

Considerando apenas as sucessões do manejo da colheita, cana crua-queimada e cana queimada-crua (CC-Q e CQ-C), as densidades variaram de 85 ind m^{-2} (fevereiro) a 628 ind m^{-2} (julho), ambos para o tratamento CC-Q.

Pinheiro (1996) avaliando cultivos de cana-de-açúcar com e sem queima encontrou valores de densidade mais elevados para as áreas com colheita crua, concluindo que a colheita sem queima além de favorecer a fauna em quantidade, o faz também em riqueza de grupos.

Dlamini e Haynes (2004) avaliando os efeitos de diferentes manejos e cultivos sobre a população de minhocas em Kwazulu-Natal (África) encontraram maior número de indivíduos em áreas de mata, seguindo-se da cana crua e por fim a área de cana queimada. Ceddia (1996) também estudando a população de minhocas em área de cana queimada e cana crua, encontrou mais indivíduos na área sem queima.

Avaliando a influência do método de colheita e da aplicação de vinhaça sobre a macrofauna edáfica no Paraná, Pasqualin (2009) descreveu valores de densidade (médios de

seis coletas) da ordem de 182 ind m⁻² em cana crua sem vinhaça e 137 ind m⁻² em cana queimada sem vinhaça. Pode-se inferir então que, para a área em estudo, a abundância total de indivíduos apresenta os menores valores abaixo do citado pelo autor, e seus maiores valores acima do máximo obtido.

Ressalta-se que no Paraná é comum a aplicação de inseticidas no solo, prática esta constante no cronograma de execução de atividades de manejo citado por Pasqualin (2009) e Marçal (2009). O que, apesar de não ter sido contemplado na discussão dos resultados de ambos os autores, poderia mascarar os resultados.

Analisando os índices ecológicos (Tabela 14) temos que, para a coleta de fevereiro, os tratamentos CC e CQ-C apresentaram valores significativamente maiores de riqueza média, bem como maior riqueza total de grupos. O maior índice de Shannon, isto é, a maior diversidade foi encontrada para o tratamento CQ-C, assim como os maiores valores de densidade total de indivíduos, riqueza média e total, uma vez que o índice de Shannon é reflexo da riqueza de grupos. Indicando que, na época de amostragem, o tratamento oferecia um ambiente favorável a atividade da fauna quanto a recurso alimentar, microclima e abrigo, ou seja, que a manutenção da cobertura do solo condicionou a ocorrência de diferentes grupos da fauna.

Os tratamentos que não possuem cobertura apresentaram índices de diversidade mais baixos, comportamento semelhante foi observado por Pasqualin (2009). Para Souza et al. (2005) a menor diversidade pode ser devida a exposição do solo a variações de temperatura, perda de umidade e a menor oferta de alimento e abrigo para alguns grupos, o que afeta organismos mais sensíveis e, conseqüentemente, a diversidade.

Para o tratamento CQ-C o índice de uniformidade (Pielou) foi baixo (Tabela 14), apesar do maior valor para o índice de Shannon. Mesmo sendo a densidade e riqueza elevadas, há dominância de grupos (Figura 21), resultando em maior valor apenas de Shannon.

O índice de Pielou avalia a uniformidade de distribuição dos indivíduos entre os grupos existentes em cada tratamento (MENEZES, 2008). Apresentou seu maior valor para o tratamento CQ, indicando que não há dominância entre os grupos, uma vez que este tratamento apresenta as menores densidade e riqueza caracterizando uma melhor distribuição dos indivíduos nos poucos grupos encontrados neste tratamento (Figura 21).

Tal resultado é corroborado pelo exposto por Correia e Oliveira (2000) de que a queima tem efeitos negativos sobre a fauna do solo, pois além da eliminação direta de, praticamente, todos os animais que vivem na superfície, a remoção da serrapilheira elimina a fonte alimentar e desestrutura o habitat. Sem alimento e sem habitat, a recolonização, quando ocorre, é lenta e restrita a poucos grupos.

Apesar dos menores valores para riqueza média e total, densidade da macrofauna e o segundo menor índice de diversidade (Shannon) pertencerem a este tratamento, Menezes (2008) explica que ao supor que a comunidade com maiores valores para o índice de Pielou será a mais biodiversa por, indiretamente, haver menor dominância de poucas espécies ou grupos, podemos estar enganados. O autor cita a afirmação de Gosselin (2006) de que embora a equabilidade seja um componente da diversidade estruturado para ser, matematicamente, independente da riqueza de espécies, ele de fato, não o é. Essa relação é forte, principalmente em situações onde a riqueza apresente-se inferior a 20, variando muitas vezes de maneira inversa à riqueza. Para a CQ isto pode ser observado, uma vez que o tratamento foi o de menor riqueza total e densidade.

Para o período caracterizado pelo mês de julho observam-se maiores abundâncias de indivíduos em todos os tratamentos avaliados. Isso pode estar relacionado ao fato de, até fevereiro, o experimento ter passado por estresses hídricos extremos: chuvas intensas seguidas de seca prolongada (ver notas de rodapé 1 e 2 apresentadas no CAPÍTULO II e no

CAPÍTULO III). Afinal, o clima exerce influência sobre a comunidade da fauna edáfica, uma vez que Correia e Pinheiro (1999) consideram que o tamanho das populações amostradas em dado momento são resultado de eventos climáticos anteriores à época de amostragem. Ou ao fechamento do solo pela cultura, bem como pela maior umidade verificada². Porém as maiores densidades se devem a presença (dominância) de grupos sociais como, por exemplo, Formicidae que chega a representar 94% do total de indivíduos para CC (Figura 21).

Moço et al. (2005) caracterizando a fauna em diferentes coberturas vegetais, obtiveram maiores densidades de organismos no verão, o mesmo padrão foi observado por Correia e Pinheiro (1999) ao monitorarem a fauna do solo em diferentes coberturas vegetais em sistema integrado de produção agroecológica, onde independente da cobertura, as menores densidades da fauna ocorreram em ano de déficit hídrico.

Na segunda coleta (julho/2010, Tabela 14), não houve diferenças significativas para a riqueza média entre os tratamentos, sendo pequena a variação entre épocas de amostragem e dentro das épocas. Riqueza total seguiu o mesmo padrão observado anteriormente. Já os índices de diversidade e uniformidade foram baixíssimos, em decorrência da dominância exercida pelos grupos sociais Formicidae e Isoptera (Figura 22). O mesmo foi observado por Pasqualin (2009) em áreas de cana-de-açúcar sob diferentes manejos de colheita e aplicação de vinhaça e por Lima et al. (2007) no estudo de sistemas agroflorestais.

5.5.2 Composição relativa da macrofauna

O total de indivíduos (ind m^{-2}) coletados em fevereiro foi identificado em 10 grupos taxonômicos (Tabela 15), desses 7 foram verificados na CC, 3 em CQ e CC-Q e 9 na CQ-C. Apenas dois grupos ocorreram nos quatro tratamentos, sendo justamente os de maior densidade: Formicidae e Larvas de Coleoptera.

Alguns grupos apareceram somente em um tratamento, como é o caso dos grupos Sternorrhyncha, Gastropoda e Isoptera (CQ-C), outros foram comuns entre dois ou três tratamentos, sendo eles: Araneae (CC, CC-Q e CQ-C); Auchenorrhyncha (CC e CQ); Blattodea, Coleoptera e Oligochaeta (CC e CQ-C). Não foram verificadas diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 15).

Em julho, foram identificados 13 grupos taxonômicos (Tabela 16) sendo 9 encontrados em CC, 8 em CQ, 6 em CC-Q e 11 em CQ-C. Somente Formicidae e Oligochaeta apareceram em todos os tratamentos. Auchenorrhyncha foi encontrado CQ-C, Blattodea em CC, CQ e CQ-C, Casulo de Oligochaeta em CC, CQ e CC-Q, Coleoptera em CC, CQ e CQ-C, Larvas de Formicidae e, CC, CC-Q e CQ-C, Araneae, Chilopoda e Larvas de Coeloptera em CC e CQ-C, Gastropoda em CQ e CQ-C, Heteroptera em CC-Q e CQ-C, Isoptera em CQ e CC-Q.

Araneae foi o único grupo a apresentar diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 16), sendo sua densidade maior no tratamento cana queimada-crua, quando comparado aos demais, o que pode ser atribuído ao fato deste ser um grupo com maior resiliência as modificações ambientais (PINHEIRO, 1996), bem como ao hábito alimentar (predador).

A presença de predadores (Araneae e Chilopoda) nos tratamentos CC e CQ-C indica um ambiente mais estável e o estabelecimento de uma cadeia alimentar, pois seriam estes os tratamentos que ofereceriam maior gama de presas. Os grupos de maior densidade foram os de insetos sociais Formicidae e Isoptera.

² Durante a coleta dos indivíduos foi verificado em campo (avaliação expedita), maior umidade no solo do que na coleta de fevereiro/2010.

A maior participação do grupo Oligochaeta pode estar relacionado a maior umidade (ver nota de rodapé 2) observada em campo, à alterações qualitativas na palhada e ao aporte de matéria orgânica também em subsuperfície via sistema radicular.

Tabela 15. Distribuição da densidade da macrofauna⁽¹⁾ (ind m⁻²) por grupos para o mês de fevereiro/2010.

Grupos Taxonômicos	CC		CQ		CC-Q		CQ-C	
	----- Ind m ⁻² -----							
Araneae	11	A	0	A	5	A	3	A
Auchenorrhyncha	3	A	3	A	0	A	0	A
Blattodea	3	A	0	A	0	A	5	A
Coleoptera	8	A	0	A	0	A	5	A
Formicidae	117	A	11	A	69	A	171	A
Gastropoda	0	A	0	A	0	A	19	A
Isoptera	0	A	0	A	0	A	64	A
Coleoptera (larvas)	27	A	5	A	8	A	13	A
Oligochaeta	3	A	0	A	0	A	3	A
Sternorrhyncha	0	A	0	A	0	A	3	A

* CC – cana crua CQ – cana queimada CC-Q – cana crua-queimada CQ-C – cana queimada-crua

⁽¹⁾ Médias de seis repetições. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Friedman ($\alpha = 0,05$).

Tabela 16. Distribuição da densidade da macrofauna⁽¹⁾ (ind m⁻²) por grupos para o mês de julho/2010.

Grupos Taxonômicos	CC		CQ		CC-Q		CQ-C	
	----- Ind m ⁻² -----							
Araneae	16	AB	0	B	0	B	19	A
Auchenorrhyncha	0	A	0	A	0		3	A
Blattodea	5	A	3	A	0		8	A
Oligochaeta (casulo)	11	A	3	A	3		0	A
Chilopoda	3	A	0	A	0		3	A
Coleoptera	3	A	5	A	0		5	A
Formicidae	787	A	293	A	464		363	A
Gastropoda	0	A	3	A	0		3	A
Heteroptera	0	A	0	A	3		3	A
Isoptera	0	A	8	A	147		0	A
Coleoptera (larvas)	3	A	0	A	0		5	A
Formicidae (larvas)	3	A	0	A	3		13	A
Oligochaeta	8	A	11	A	8		11	A

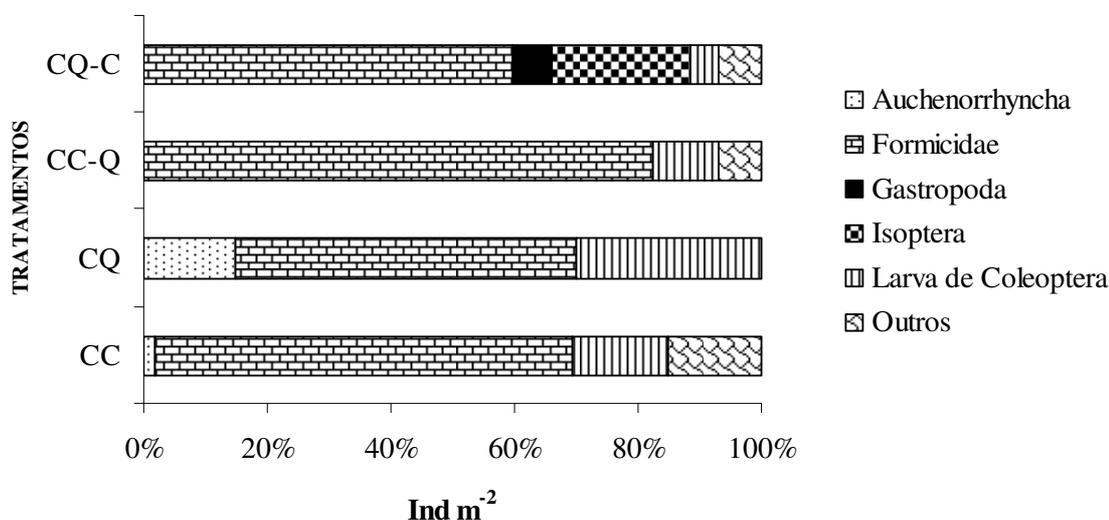
* CC – cana crua CQ – cana queimada CC-Q – cana crua-queimada CQ-C – cana queimada-crua

⁽¹⁾ Médias de seis repetições. Valores seguidos de mesma letra maiúscula, entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Friedman ($\alpha = 0,05$).

A não diferenciação entre tratamentos do grupo dominante (Formicidae) pode estar sendo influenciada pelo fato destes indivíduos serem extremamente móveis, transitando de um local a outro. Cordeiro et al. (2004) avaliando macrofauna em um sistema de manejo orgânico de produção, também não verificaram diferenças significativas entre tratamentos, mesmo sendo os Formicidae o grupo de maiores densidade e dominância, atribuindo isso ao fato da proximidade entre as áreas e à mobilidade do grupo.

O grupo Sternorrhyncha esteve presente apenas na amostragem de fevereiro, já os grupos Chilopoda, Heteroptera e as formas imaturas Casulo de Oligochaeta e Larva de Formicidae tiveram representantes na coleta de julho.

Não foram detectadas diferenças significativas para os grupos, em função do tratamento, entre as coletas pelo teste do Sinal a 5% de probabilidade.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
Figura 21. Composição relativa (%) dos grupos da macrofauna em função do tratamento. Dados relativos a coleta de fevereiro/2010.

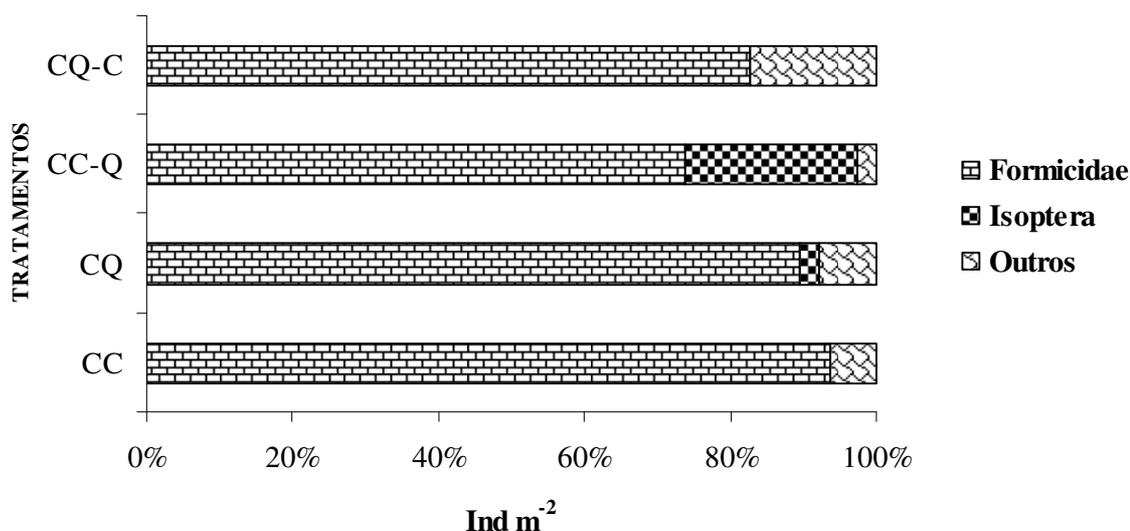
A Figura 21 e a Figura 22 complementam as informações da Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16. Ou seja, mostram como se deu a distribuição dos indivíduos da macrofauna em cada grupo em função do tratamento e sua contribuição para a densidade total (Tabela 14). Na coleta de fevereiro foram contabilizados 565 ind m⁻², dos quais 31% encontravam-se na CC, 3% na CQ, 15% na CC-Q e 51% na CQ-C. Em julho, foram contabilizados 2 232 ind m⁻², sendo 38% em CC, 15% em CQ, 28% em CC-Q e 19% em CQ-C.

Para fevereiro, optou-se por reunir os grupos Araneae, Blattodea, Coleoptera, Oligochaeta e Sternorrhyncha de modo a permitir melhor visualização em escala gráfica percentual. Estes grupos apresentaram, individualmente, distribuição relativa menor que 7%, sendo então representados em conjunto.

Como já havia indicado o índice de equabilidade (Pielou) houve predominância do grupo Formicidae. A ocorrência deste grupo em maiores proporções pode ser atribuída ao hábito social, a repartição do trabalho (BRUYN, 1999) e ao hábito alimentar diversificado em função da espécie (herbívoros, predadores ou saprófagos). Sendo assim, são de suma importância para os processos de decomposição em ecossistemas tropicais (ASSAD, 1997b), justificando sua abundância para a maioria dos tratamentos.

As formigas atuam na redistribuição de partículas, no transporte de nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica, melhorando a infiltração de água no solo (porosidade e aeração) (BRUYN, 1999). Souza et al. (2011) verificaram predomínio de formigas e cupins na caracterização de macrorganismos em um Latossolo em recuperação, tendo verificado que Formicidae e Isoptera aparecem como os primeiros colonizadores em solos em recuperação que apresentam pH, teor de matéria orgânica, e saturação por bases baixos. Segundo Kitamura et al. (2008) essa colonização sugere que, esses grupos são indicadores de estresse (alterações no manejo), porque colonizam as áreas quando estas não apresentam condições adequadas de sobrevivência, o que também justificaria seus maiores valores para os tratamentos submetidos a queima.

Pinheiro (1996), avaliando a macrofauna em área de cana-de-açúcar colhida com e sem queima, encontrou as maiores densidades para o grupo Formicidae em ambas as áreas.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
Figura 22. Composição relativa (%) dos grupos da macrofauna em função do tratamento.
 Dados relativos a coleta de julho/2010.

Para julho, optou-se por reunir os grupos Araneae, Auchenorrhyncha, Blattodea, Casulo de Oligochaeta, Chilopoda, Coleoptera, Gastropoda, Heteroptera, Larvas de Coleoptera, Larvas de Formicidae e Oligochaeta de modo a facilitar a visualização em escala gráfica percentual. Estes grupos apresentaram, individualmente, distribuição relativa menor que 3%, sendo então representados em conjunto. Similar ao verificado anteriormente, e corroborado pelos baixos índices de diversidade (Shannon) e uniformidade (Pielou) houve severa dominância dos grupos Formicidae e Isoptera.

Segundo Bandeira e Vasconcellos (2011) são muitas as formas de atuação dos cupins no funcionamento dos ecossistemas tropicais, destacando-se seu papel na decomposição da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, na movimentação das partículas minerais do solo e fixação de nitrogênio. Sendo assim, Constantino (2011) relata que uma fauna diversa depende dos cupins para alimentação ou abrigo, implicando em perda dessas espécies dependentes caso certas espécies de cupins, de dado ecossistema, sejam eliminadas.

A presença de cobertura morta (tratamentos CC e CQ-C) favorece a atividade de organismos engenheiros do ecossistema (Formicidae, Isoptera e Oligochaeta) (BARROS et al., 2003). Em contrapartida, Santos et al. (2008) alerta que altas densidades do grupo Isoptera (cupins) são comuns em áreas de baixa fertilidade.

5.5.3 Distribuição vertical e grupos funcionais da macrofauna

Foram detectadas diferenças significativas entre os estratos avaliados apenas para o grupo Formicidae (Tabela 17), sendo os maiores valores encontrados para o solo na profundidade de 0-10 cm para o tratamento cana crua (CC). Durante todo o estudo este grupo se destacou, apresentando as maiores densidades e sendo responsável pela menor uniformidade dos grupos, mesmo diante de uma comunidade mais diversa.

Bianchi et al (2007) e Pasqualin (2009) reforçam que, em áreas cultivadas, a fauna tem preferência pelas camadas superficiais de solo. E que altas densidades fazem com que os resultados reflitam a preferência do grupo pelo estrato que se diferencia dos demais. Ainda Pasqualin (2009) verificou o predomínio de Formicidae em áreas de cana-de-açúcar.

Barrios et al. (2005), citado por Cantazoni (2010), consideram que densidades elevadas, especificamente de Formicidae, correspondem à uma situação em que a dominância

desse grupo se daria em solos em que, anteriormente, houve algum processo de degradação, mesmo que o manejo atual seja de recuperação.

A distribuição vertical da fauna nos compartimentos do solo (Figura 23), no período fevereiro/2010, mostra que a densidade de organismos encontrada foi dependente do tratamento, sendo que para os tratamentos cana crua (CC) e cana queimada-crua (CQ-C) cerca de 50 e 60%, respectivamente, do número total de indivíduos concentraram-se na camada de 0-10 cm. No tratamento cana queimada (CQ) houve maior concentração de indivíduos na camada de 10-20 cm, enquanto no tratamento cana crua-queimada (CC-Q) o maior percentual de indivíduos estava na camada mais inferior (20-30 cm).

A menor concentração de indivíduos nos estratos superiores - ou seja, o gradiente de distribuição vertical - ocorre por influencia direta da queima, que promove a eliminação de indivíduos, da fonte alimentar e ainda promove alterações no habitat. O que é agravado pelo fato de da área experimental ter enfrentado em período de seca de 3 meses - da primeira quinzena de novembro/2009 até a primeira quinzena de fevereiro, quando foi realizada a coleta (informação obtida na própria LASA, conforme nota de rodapé 1).

Tabela 17. Densidade da macrofauna edáfica⁽¹⁾ por grupo em função do tratamento e do compartimento avaliado (palha ou solo) para a coleta de fevereiro/2010.

Estratos Avaliados	Ara	Auche	Blat	Coleo	Formi	Gastro	Isopt	L.Coleo	Oligo	Sterno										
Cana Crua																				
Palhada	3	A	0	A	3	A	0	A	0	B	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
0-10 cm	5	A	0	A	0	A	3	A	61	A	0	A	0	A	13	A	0	A	0	A
10-20 cm	0	A	3	A	0	A	3	A	51	AB	0	A	0	A	11	A	0	A	0	A
20-30 cm	3	A	0	A	0	A	3	A	5	B	0	A	0	A	3	A	3	A	0	A
Cana Queimada																				
Palhada	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
0-10 cm	0	A	3	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
10-20 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	5	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A
20-30 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A
Cana Crua-Queimada																				
Palhada	3	A	0	A	0	A	0	A	16	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
0-10 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A
10-20 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A
20-30 cm	3	A	0	A	0	A	0	A	48	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A
Cana Queimada-Crua																				
Palhada	0	A	0	A	0	A	0	A	8	A	3	A	51	A	0	A	0	A	3	A
0-10 cm	0	A	0	A	3	A	5	A	147	A	16	A	0	A	8	A	0	A	0	A
10-20 cm	0	A	0	A	3	A	0	A	8	A	0	A	8	A	0	A	3	A	0	A
20-30 cm	3	A	0	A	0	A	0	A	8	A	0	A	5	A	5	A	0	A	0	A

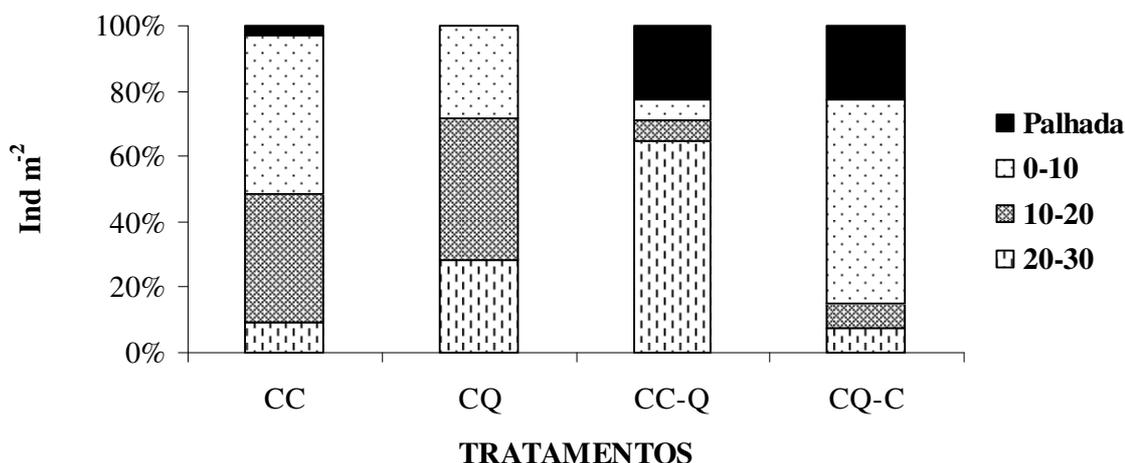
*Ara – Araneae / Auche – Auchenorrhyncha / Blat – Blattodea / Coleo – Coleoptera / Formi – Formicidae / Gastro – Gastropoda / Isopt – Isoptera / L. Coleo – Larva Coleoptera / Oligo – Oligochaeta / Sterno – Sternorrhyncha

⁽¹⁾ Valores médios de 6 repetições. Médias seguidas de mesma letra, entre profundidades e dentro de tratamento, não diferem entre si pelo teste de Friedman ($\alpha = 0,05$)

Afinal, a baixa umidade afeta muitos animais, devido as suas características morfológicas (VERHOEF e WITTEVEEN, 1980; DIDDEN, 1993). Assim, buscando condições amenas os animais passam a habitar as camadas mais profundas do solo (DIDDEN, 1993). Além disso, constantes variações e, principalmente, a falta de umidade no solo afetam a fauna indiretamente através da influência sobre a comunidade microbiana, visto que alguns grupos utilizam os microrganismos como fonte alimentar (HÅGVAR, 1998). Assim

percebemos que os tratamentos em que ocorre manutenção da cobertura do solo foram os que concentraram a maior densidade de organismos nos primeiros 10 cm.

Tão importante quanto o efeito da seca é o fato de em áreas onde se utiliza o fogo como método pré-colheita haver, durante a queima, elevação da temperatura nos primeiros centímetros de solo eliminando os organismos que ali vivem, gerando assim gradiente de distribuição dos animais, uma vez que maiores densidades são esperadas nas camadas superficiais do solo.



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
Figura 23. Distribuição vertical da macrofauna edáfica para a coleta de fevereiro/2010.

Para a coleta de julho foram detectadas diferenças significativas entre os estratos avaliados apenas para o grupo Formicidae (Tabela 18), sendo os maiores valores encontrados para o solo na profundidade de 0-10 cm para o tratamento cana crua-queimada, que na época amostral apresentou a segunda maior densidade total. Novamente pode ser verificado que em ambas as coletas o grupo que mais influenciou a dinâmica da fauna do solo, bem como sofreu influência do clima e dos manejos foi o Formicidae.

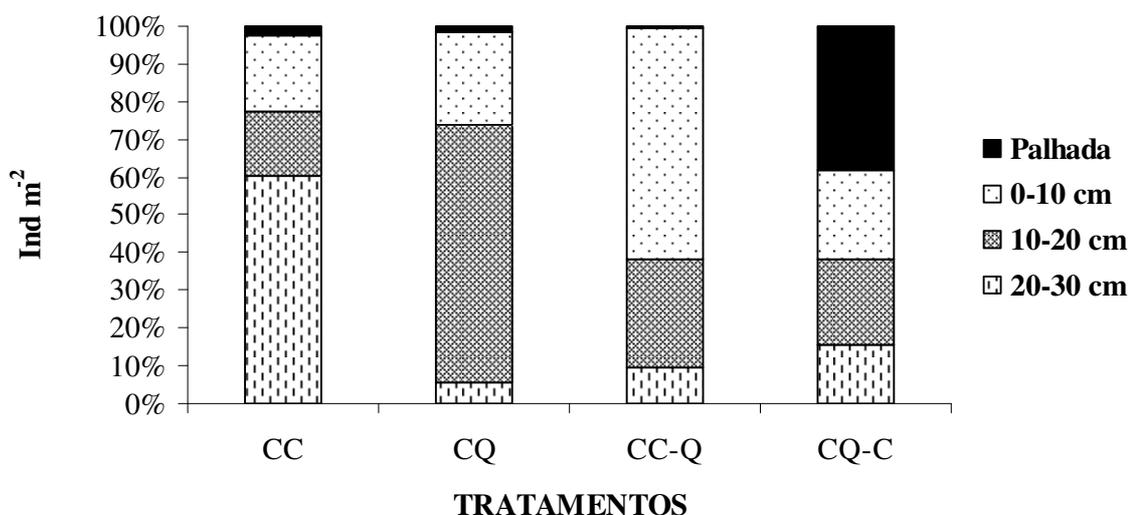
A distribuição vertical da fauna nos compartimentos do solo (Figura 23), no período julho/2010, mostra que a densidade de organismos encontrada foi dependente de outros fatores, possivelmente abióticos, e não somente dos tratamentos. Foram ainda influenciados pelos grupos mais expressivos, uma vez que para o tratamento CC o maior percentual de indivíduos encontrados, cerca de 60% do total, estava concentrado na camada de 20-30 cm, que como exposto na Tabela 18, correspondeu aos indivíduos de grupo Formicidae. No tratamento cana queimada (CQ) houve maior concentração de indivíduos na camada de 10-20 cm, enquanto no tratamento cana crua-queimada (CC-Q) o maior percentual de indivíduos estava na camada superior (0-10 cm), novamente um reflexo da dominância de Formicidae e outro grupo, dessa vez o Isoptera cujas densidades corresponderam a, aproximadamente, 60% do total de indivíduos encontrados nesse tratamento, para essa camada de solo. Para o tratamento CQ-C fica evidente o benefício da manutenção da palhada no solo, pois cerca de 40% dos indivíduos totais foram observados na interface solo-palhada.

Tabela 18. Densidade da macrofauna edáfica⁽¹⁾ por grupo em função do tratamento e do compartimento avaliado (palha ou solo) para a coleta de julho/2010.

Estratos Avaliados	Ara	Auche	Blat	Cas	Chilo	Coleo	Formi	Gastro	Heter	Isopt	L. Coleo	L. Formi	Oligo													
Cana Crua																										
Palhada	11	A	0	A	3	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A		
0-10 cm	5	A	0	A	3	A	3	A	0	A	3	A	149	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	5	A
10-20 cm	0	A	0	A	0	A	5	A	0	A	0	A	131	A	0	A	0	A	0	A	3	A	3	A	3	A
20-30 cm	0	A	0	A	0	A	3	A	3	A	0	A	501	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
Cana Queimada																										
Palhada	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
0-10 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A	59	A	0	A	0	A	8	A	0	A	0	A	8	A
10-20 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	224	A	3	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
20-30 cm	0	A	0	A	0	A	3	A	0	A	3	A	11	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A
Cana Crua-Queimada																										
Palhada	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	3	B	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
0-10 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	229	A	0	A	3	A	147	A	0	A	0	A	3	A
10-20 cm	0	A	0	A	0	A	3	A	0	A	0	A	171	AB	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A	5	A
20-30 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	61	B	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A
Cana Queimada-Crua																										
Palhada	16	A	3	A	8	A	0	A	3	A	3	A	117	A	3	A	0	A	0	A	0		13	A	5	A
0-10 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	3	A	93	A	0	A	3	A	0	A	3		0	A	3	A
10-20 cm	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	93	A	0	A	0	A	0	A	3		0	A	3	A
20-30 cm	3	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	59	A	0	A	0	A	0	A	0		0	A	0	A

*Ara – Araneae / Auche – Auchenorrhyncha / Blat – Blattodea / Cas – Casulo Oligochaeta / Chilo – Chilopoda / Coleo – Coleoptera / Formi – Formicidae / Gastro – Gastropoda / Heter – Heteroptera / Isopt – Isoptera / L. Coleo – Larva Coleoptera / L. Formi – Larva Formicidae / Oligo – Oligochaeta

⁽¹⁾ Valores médios de 6 repetições. Médias seguidas de mesma letra, entre profundidades e dentro de tratamento, não diferem entre si pelo teste de Friedman ($\alpha = 0,05$)



CC – Cana crua CQ – Cana queimada CC-Q – Cana crua-queimada CQ-C – Cana queimada-crua
Figura 24. Distribuição vertical da macrofauna edáfica para a coleta de julho/2010.

Pode-se ainda concluir que para o tratamento CQ-C há uma melhor distribuição dos indivíduos entre as camadas do solo, o que decorre do maior conteúdo de matéria orgânica, inclusive em profundidade devido ao sistema radicular, de microclimas e oferta de refúgios que favorecem a atividade da fauna e estimulam o surgimento de outros grupos com diferentes estratégias de sobrevivência. PINHEIRO (1996) afirma que a macrofauna tem preferência pela palhada e que o solo é influenciado tanto pelo material em superfície quanto pela fauna que a transforma, já que a eliminação desta parece afetar a fauna da primeira camada de solo, não desconsiderando o efeito do fogo.

As diferenças ocorridas para a densidade total e a distribuição vertical entre as datas de estudo refletem, provavelmente, alterações qualitativas na palhada determinando diferenças na colonização ocorrida neste material pelas populações edáficas (PINHEIRO, 1996).

As avaliações utilizando como artifício a relativização das densidades de cada grupo presente nas amostragens, isto é, suas contribuições percentuais na densidade total dos tratamentos permitem a visualização dos grupos que apresentaram maior expressividade. De modo geral, o grupo Formicidae apresentou-se como o mais expressivo, exercendo dominância sobre os demais grupos em todos os tratamentos para ambas as coletas.

Baseado nos trabalhos de Costa (2002), Moço et al. (2005) e Moreira et al. (2010) a macrofauna edáfica pode ser dividida em alguns grupos funcionais que não necessitam de detalhada identificação (taxonomia):

- Fitófagos: Auchenorrhyncha, Heteroptera e Sternorrhyncha
- Predadores: Araneae e Chilopoda
- Saprófagos: Blattodea, Gastropoda, Oligochaeta

Assim, foram observados certos padrões quanto aos grupos funcionais da macrofauna edáfica em relação aos tratamentos.

Para a coleta de fevereiro, os tratamentos CC, CQ e CQ-C contaram com a presença de fitófagos (Auchenorrhyncha e Sternorrhyncha). Predadores foram observados nos tratamentos CC, CC-Q e CQ-C (Araneae), já aqueles grupos que se enquadram em saprófagos, estavam relacionados às áreas com manutenção de cobertura.

Em julho, época de maiores densidades totais de indivíduos, os predadores estiveram presentes, exclusivamente, nos tratamentos CC e CQ-C (Araneae e Chilopoda), os fitófagos

(Auchenorrhyncha e Heteroptera) constaram dos tratamentos CC-Q e CQ-C. Os demais grupos funcionais observados foram os saprófagos, que nessa amostragem encontraram-se também associados não só aos tratamentos sem queima da palhada, mas também aos outros tratamentos. Os Oligochaeta e os Formicidae foram encontrados em todos os tratamentos.

Essa associação pode ter relação com, embora pequena ao se considerar os manejos conservacionistas, a deposição – devido a senescência - de folhas nas áreas queimadas, como também a presença de outros materiais orgânicos dos quais esses animais se alimentam, disponibilizados, principalmente, pela ação de organismos da fauna que colonizaram anteriormente aquelas áreas melhorando então as condições ambientais e permitindo que outros indivíduos ali se instalassem.

A presença de grupos predadores nos tratamentos cuja palha é mantida em superfície implica em duas caracterizações: a do estabelecimento de uma teia trófica, uma vez que indivíduos deste grupo existam é necessário haver a colonização da área pelos predecessores na cadeia alimentar; e, conseqüentemente, a de um ambiente mais estável (equilibrado); outro indicativo de um ambiente melhor estruturado é a diversidade dos grupos predadores,

Assim, é possível afirmar que a degradação das áreas, especialmente, as alterações nas condições de sobrevivência da fauna edáfica ocorre pela remoção da cobertura vegetal original (vegetação primária) para a introdução dos cultivos e não propriamente pelo manejo produtivo da cana-de-açúcar.

5.6 CONCLUSÕES

A manutenção da palhada em superfície beneficia diretamente a riqueza dos grupos da macrofauna, por oferecer recursos tróficos, microclima e microhabitats favoráveis à atividade desses animais e ao surgimento de outros grupos adaptados aquele ambiente.

Os índices ecológicos se mostraram mais apropriados e eficientes na avaliação da influência dos sistemas de colheita do que a densidade total.

O único grupo que, em algum momento, se diferenciou em função do tratamento foi o Araneae aparecendo em maior densidade para o tratamento CQ-C.

Em ambos os períodos amostrais houve dominância do grupo social Formicidae refletindo em menores índices de uniformidade e diversidade, mesmo quando maiores densidades totais foram verificadas.

A estratificação dos animais no sistema palha-solo parece ser influenciada pela associação de fatores bióticos e abióticos, não dependendo exclusivamente dos tratamentos.

Em relação ao hábito alimentar (grupo funcional), se encontram nos tratamentos sem queima da palhada predadores configurando um ambiente mais estável e o estabelecimento de teia trófica.

6 CAPÍTULO IV

EFEITO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE COLHEITA SOBRE OS PARÂMETROS PRODUTIVOS DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM ARGISSOLO AMARELO, LINHARES - ES

6.1 RESUMO

Instalado em 1989 em Linhares – ES o experimento visa determinar os efeitos dos sistemas de colheita. Nos anos de 1997 e 2005 houve renovação do canavial quando foram incluídos e mantidos, respectivamente, os tratamentos CC-Q e CQ-C, além dos anteriores CC e CQ. A fim de avaliar a influência dos tratamentos sobre a produtividade da cana-de-açúcar foram coletados dados referentes a sua biomassa mediante pesagem de colmos, folhas (secas ou frescas aderidas aos colmos) e ponteiros. Os colmos, de forma a se obter por extrapolação a produtividade média de cada parcela, também foram contabilizados. O material foi obtido de duas linhas selecionadas na frente (amostra ‘A’) e nos fundos de cada parcela (amostra ‘B’), com 2 m lineares cada linha. Não foi detectado o efeito dos tratamentos sobre a produtividade de colmos e folhas, mas este surgiu na avaliação de ponteiros, onde a maior produtividade ocorreu sob o sistema cana crua.

Palavras-chave: Queima. Cana crua. Produtividade.

6.2 ABSTRACT

The experiment installed in 1989 in Linhares – ES, with the objective of determining the effects of sugarcane harvesting systems, was renewed in 1997 and 2005, when there were included and maintained, respectively, the treatments CC-Q and CQ-C in addition to the previous CC and CQ. In order to evaluate the effect of treatments on the productivity of sugarcane, data on the biomass by weight of stems, leaves (dried or fresh adherent to the stem) and pointers was collected. The stems were also accounted, in order to obtain by extrapolation the average productivity of each plot. The material was obtained from two selected lines in front (sample 'A') and in the back of each plot (sample 'B') with two linear meters each line. There was no effect of the treatments on stems and leaves yield; however it was noted in the evaluation of pointers, where the highest productivity occurred in the green cane system.

Key words: Burn. Green cane. Productivity.

6.3 INTRODUÇÃO

A produtividade da cana-de-açúcar é afetada por fatores genéticos, condições edafoclimáticas e o manejo adotado. Então, quando se deseja incrementar a produtividade é preciso aliar práticas culturais à redução dos fatores limitantes no ambiente produtivo.

Para a cultura, buscam-se o aumento da produção de colmos por unidade de área, o aumento do teor de sacarose, e a maior longevidade do canavial (GOMES, 2003). Apesar de sua adaptabilidade, quando exposta a condições desfavoráveis, as cultivares de cana existentes não expressam sua máxima produtividade. O desenvolvimento de raízes depende de condições físico-hídricas, químicas e morfológicas das camadas superficial e subsuperficial do solo (LEITE, 2007). Impedimentos a esse desenvolvimento minimizam a absorção de água e nutrientes (RAMOS, 2006), prejudicando a produtividade.

Por ser uma cultura semi-perene, a cana-de-açúcar está sujeita, durante todo o ciclo, ao efeito da má distribuição de chuvas. As deficiências hídricas e nutricionais aliadas a temperaturas extremas e baixa radiação solar impõem restrições ao crescimento da cana-de-açúcar (BRAY, 1980). Em termos de exigência de nutrientes é uma cultura acumuladora de nitrogênio e potássio.

As práticas de manejo são responsáveis por modificações ambientais; em propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo; além de um dos fatores que regulam a produtividade, assim, é de se esperar que sistemas convencionais ao serem confrontados com sistemas conservacionistas sinalizem queda do potencial produtivo da cultura.

Segundo Silva (2004), a queima do canavial diminui sua vida útil, mas a aplicação de vinhaça, ou outro tratamento conjunto (doses de fertilizantes) protelaria a renovação. Diversos trabalhos relatam que, nos primeiros anos após a implantação do manejo sem a queima, a produtividade do canavial é menor que a do sistema com queima e com os anos estes resultados são igualados e até mesmo superam os rendimentos obtidos para a cana-de-açúcar colhida queimada. Pelo exposto, justificam-se estudos que investiguem o grau de interferência do manejo da colheita, bem como de outras práticas, nos parâmetros produtivos da cultura.

Para este estudo, com base na hipótese de que os sistemas de colheita da cana-de-açúcar afetam sua produtividade, o objetivo foi identificar e quantificar, através do rendimento da cultura e do aporte de matéria orgânica, a influência dos manejos adotados, sobre os rendimentos da cultura.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área cedida pela Linhares Agroindustrial S. A. (LASA) no município de Linhares – ES. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi a SP 79-1011 que, segundo Cardoso (2000), citado por Ramos (2006), apresenta as seguintes características: maturação média, alto teor de sacarose, média exigência em fertilidade do solo, ótima para solo arenoso, boa para solo argiloso, raro florescimento, pouco chochamento, bom perfilhamento, boa brotação de soqueiras, médio a alto teor de fibras, resistente a escaldadura, carvão e mosaico, fácil despalha e difícil tombamento, e alta produtividade.

O experimento consta de seis blocos, sendo cada bloco composto por quatro parcelas, em duas a colheita da cana-de-açúcar é com queima da palhada e em duas sem queima da palhada. As parcelas têm área de 286 m² cada. Cada parcela contém 11 linhas com 20,0 m de comprimento, espaçadas de 1,30 m. Duas linhas de cada lado da parcela são consideradas como bordadura.

O desenho experimental utilizado foi o de blocos com quatro fatores, sendo constituídos de formas de renovação do canavial, onde, em uma das parcelas, sempre é cultivada cana colhida sem queima, em outra, cana sempre colhida com queima, e nas demais, se alterna por ocasião da renovação cana crua/cana queimada e cana queimada/cana crua. Os blocos são repetidos 6 vezes, conforme mostrado na Figura 5 do CAPÍTULO II.

A segunda renovação da área experimental, de que trata este estudo, ocorreu em 2005, sendo o plantio realizado em 17/05/2005 com a colheita da cana planta em 14/08/2005.

6.4.1 Métodos de amostragem

Para as análises produtivas da cana-de-açúcar deixam-se duas linhas de cada lado da parcela como bordadura. Nas sete linhas restantes foram colhidas, tanto na frente quanto nos fundos da parcela, duas linhas aleatórias com auxílio de um gabarito de 2 m de comprimento, perfazendo 2 m lineares de cana-de-açúcar colhida em cada uma das quatro linhas, totalizando 8m lineares por parcela. Nesta ocasião a cana-de-açúcar é identificada de acordo com a parcela a qual pertence compondo 2 amostras (A e B). Os colmos foram limpos separando-se suas folhas e suas pontas (destacada do colmo na região onde acaba o entrenó e começa o palmito). Os colmos correspondentes aos tratamentos cana queimada e cana crua-queimada foram colhidos antes da queima, de forma a permitir a avaliação de folhas (secas e verdes) e ponteiros.

A segunda renovação do experimento se deu em 17/05/2005. Logo, os dados amostrados referem-se ao quarto (2009) e quinto (2010) cortes da cultura retratando a produtividade da cana-de-açúcar por ocasião da 3^a e 4^a socas.

6.4.2 Métodos analíticos

a) Rendimento da cana-de-açúcar e aporte de matéria orgânica:

Foram obtidos, por ocasião da colheita da cana soca (4^o e 5^o cortes), tomando-se o peso de colmos, folhas ou palhada (folhas verdes e secas aderidas ao colmo até o palmito) e ponteiros (ponto de quebra, onde ocorre a despona da cana pelo cortador) (Figura 25). Além disso, também foi obtido o número de colmos das amostras (A e B). Esses valores foram utilizados para a estimativa, por extrapolação, da produtividade de colmos (toneladas de colmos por hectare - TCH); folhas e pontas (matéria orgânica aportada ha⁻¹). Tais procedimentos foram realizados imediatamente após o corte e antes da queima.



Figura 25. Colheita da cana-de-açúcar e coleta dos parâmetros produtivos. **A-** Limpeza e separação de colmos, pontas e palha; **B-** Pontas, colmos e palhas prontos para pesagem; **C-** Pesagem.

6.4.3 Interpretação dos dados e tratamento estatístico

A avaliação da análise produtiva se deu por diferença de produção entre uma safra e a safra subsequente. Os dados foram submetidos à verificação de homogeneidade das variâncias dos erros e normalidade dos dados pelos testes de Cochran e Lilliefors, respectivamente e a análise de variância com aplicação do teste F tendo as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, para isso foi usado o programa estatístico SAEG 9.1.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 19 e na Tabela 20 são apresentados os dados relativos à biomassa fresca de colmos, folhas e pontas colhidas ao final do ciclo produtivo da cultura em cada ano avaliado, a saber 2009 (3ª soca) e 2010 (4ª soca).

Apesar de não haver significância estatística entre os tratamentos para as produtividades de colmos, o que está de acordo com os dados obtidos por Tavares (2007) avaliando o mesmo experimento, porém em cana-planta e Souza et al. (2005) estudando os sistemas de colheita e manejo de palhada (incorporação ou não da palhada triturada), pode-se observar (Tabela 19) que o tratamento cana crua apresentou maior rendimento relativo (R.R.%; 5,2 t ha⁻¹ em relação cana colhida com queima) quando comparado aos demais.

Em termos relativos, tendo como valor máximo o do tratamento cana crua (100%), a produção de cana crua-queimada correspondeu a 96,07%; a de cana queimada a 92,71%, e a de cana queimada-crua a 89,62% (Tabela 19). Tais resultados diferem dos encontrados por Tavares (2007) que encontrou para a variável colmos rendimentos relativos iguais a 100% para a cana crua, 91,7% para a cana queimada-crua; 91,4% para a cana crua-queimada; e 88,3% para a cana queimada. Todos os tratamentos apresentaram produtividade menor que a média nacional, cujo patamar em 2009 ficou em torno de 80 t ha⁻¹ (CONAB, 2010).

O maior rendimento de colmos em cana crua reflete os efeitos benéficos da manutenção da palhada no solo como, por exemplo: a redução da temperatura do solo e garantia de manutenção da umidade (OLIVEIRA et al., 2001), a melhoria ou manutenção dos agregados (CEDDIA et al., 1999), e a maior velocidade de infiltração instantânea da água no solo a partir da redução significativa de sua densidade (CEDDIA et al., 1999). Esses efeitos são de extrema importância quando se trabalha com solos de textura arenosa, principalmente em períodos de estiagem. Isso é corroborado pelos resultados apresentados por Resende et al. (2006), em experimento de longa duração e com a palha mantida no terreno, onde os rendimentos de colmos aumentaram 25%, principalmente nos anos de baixas precipitações, sugerindo que a presença da palhada foi benéfica para a conservação da umidade do solo.

Para a produtividade de folhas também não foram observadas diferenças estatísticas entre tratamentos, mas recorrendo ao rendimento relativo observam-se maiores valores para a cana queimada (100%) e menores para a cana queimada-crua (88,73%) (Tabela 19), o que também foi observado por Tavares (2007).

A produtividade de ponteiros (massa fresca de pontas) apresentou diferença significativa entre tratamentos (Tabela 19) sendo maior o tratamento CC com 11,7 t ha⁻¹. A manutenção do antigo sistema sem queima após a renovação da área é, provavelmente, a causa desse aumento significativo, posto que o material orgânico remanescente no sistema promova a manutenção de nutrientes, aumenta a retenção de água no solo, incrementa a atividade microbológica, auxilia na agregação do solo e controla a incidência de invasoras (TAVARES, 2007). Os demais tratamentos não diferiram entre si, o que não está de acordo com os dados levantados por Silva (2000) e Tavares (2007) onde as diferenças significativas mostraram que a maior e a menor produtividade de ponteiros foi obtida, respectivamente, para cana crua e queimada estando os demais tratamentos em patamares intermediários.

Para Tavares et al. (2010), em manejos submetidos a queima, o canavial anteciparia a senescência, quando comparado ao manejo da cana crua. Durante o amadurecimento quando condições restritivas ao crescimento vegetativo ocorrem ainda é necessária a manutenção da fotossíntese em taxas razoáveis. Sendo assim, as plantas sob manejo sem queima conseguiriam manter seu metabolismo ativo, podendo explicar a maior produtividade e, conseqüentemente, o maior rendimento relativo em cana crua, pois, quanto mais rápido as

folhas crescem e por mais tempo permanecem ativas (produção de fotossintatos), maior será a produtividade da cultura (MACHADO, 1987). Esse retardo na senescência em cana crua, provavelmente, tem direta relação com a amenização dos efeitos climáticos adversos, promovida pela manutenção de cobertura no solo.

Tabela 19. Produtividade de colmos, folhas e pontas em resposta aos sistemas de colheita em rendimentos absolutos e relativos (%) para a safra 2008/2009 (3^a soqueira).

Tratamento	Colmos	R.R %	Folhas	R.R %	Ponteiros	R.R %
	----- t ha ⁻¹ -----					
Cana Crua	71,3 A	100	6,6 A	92,96	11,7 A	100
Cana Queimada	66,1 A	92,71	7,1 A	100	9,9 B	84,62
Cana Crua-Queimada	68,5 A	96,07	7,0 A	98,59	9,5 B	81,20
Cana Queimada-Crua	63,9 A	89,62	6,3 A	88,73	9,8 B	83,76
Média Geral	67,5		6,7		10,2	
C.V.	10,83		16,14		12,93	

* Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,05$).

Conforme pode ser observado na Tabela 20, na colheita subsequente não houve diferenças significativas para nenhum dos parâmetros de produção avaliados.

Analisando os rendimentos relativos para colmos (Tabela 20), observa-se que houve uma inversão em relação à safra anterior, pois o máximo valor foi observado para o tratamento cana crua-queimada (100%), e, o rendimento dos demais tratamentos foram: 99,71% para a cana crua; 81,96% para a cana queimada e 88,86 para a cana queimada-crua.

Na safra anterior (Tabela 19) já havia sido notada a tendência deste tratamento (CC-Q) apresentar elevadas produtividades, porém insuficiente para superar a produtividade do tratamento cana crua. Esta inversão (superioridade de 0,2 t ha⁻¹) pode estar associada às condições climáticas adversas (excesso de chuva seguido de estiagem) pelas quais o experimento passou na fase de crescimento vegetativo, bem como a problemas quanto à distribuição da palhada e da adubação em cobertura.

É comum, no momento da adubação do experimento, igualar a quantidade de palhada em superfície por toda a parcela e afastar o material das linhas de cultivo, onde o fertilizante é aplicado. Porém, estes cuidados não foram tomados no último ano, sendo o aproveitamento pela cultura, afetado pela falta de contato do adubo com o solo. Situação semelhante ocorreu anteriormente na área experimental, sendo relatada por Ceddia (1996) e Mendoza (1996).

De maneira geral, o estresse hídrico acelera a morte das folhas velhas (LEITE et al., 1998), entretanto, a época em que o estresse ocorre e o estágio de desenvolvimento das folhas, são importantes reguladores da senescência (NG et al., 1975). A antecipação da senescência contribuiria para a adição de material vegetal ao solo, independente do tratamento (com ou sem queima), o que, associado ao fechamento do dossel garantiria a manutenção da umidade do solo propiciando condições de suportar o estresse hídrico, explicando então os maiores rendimentos relativos em CC-Q. Mas tal informação torna-se irrelevante ao se pensar nos sistemas de colheita adotados, uma vez que nos tratamentos sem queima o aporte de material é superior e se dá ao longo dos anos. Logo, esperava-se maior produtividade para o manejo de colheita sem queima, o que não ocorreu. Talvez, a inadequada execução da adubação de cobertura, no ano anterior, tenha influenciado negativamente as soqueiras levando a esta baixa produtividade, resultados semelhantes foram obtidos por Ceddia (1996) e Mendoza (1996) para o mesmo local de estudo.

Segundo Ceddia (1996) a adubação em cana crua requer cuidados, principalmente pela presença de restos vegetais que dificultam o contato do fertilizante com o solo e sua

distribuição uniforme nas linhas de cultivo. O que é corroborado por Trivellin et al. (2002) e Silva (2004) ao afirmarem que mudanças no sistema de colheita exigem reformulação das tecnologias de manejo da cultura, principalmente quanto à fertilização nitrogenada de soqueiras, pois a palha acumulada na superfície do solo influencia de modo direto na perda de N por volatilização, principalmente quando se usa uréia aplicada em superfície.

Mendoza (1996) sugere que o aumento da produtividade das socas não é afetado pelo material em cobertura da soca imediatamente anterior e sim pelo efeito da palha de socas anteriores. Vasconcelos (2002) e Macedo et al. (2003) relatam que a palhada depositada na superfície do solo, além dos benefícios conhecidos, pode diminuir o rendimento, por prejudicar a rebrota das soqueiras. Assim como o observado por Mendoza (1996), no presente estudo a distribuição irregular da palhada pode ter prejudicado o rendimento das parcelas colhidas sem a queima do palhicho, sobretudo nos anos com maior volume de palha produzido.

Na quarta soqueira (2010), comparando-se somente os sistemas mais antigos, o tratamento cana crua produziu 12,1 t ha⁻¹ a mais que o tratamento cana queimada. Novamente todos os tratamentos apresentaram produtividades abaixo da média nacional (77 t ha⁻¹; CONAB, 2011).

A produtividade de folhas e ponteiros não diferiu significativamente para nenhum dos tratamentos, mas em termos relativos tanto folhas quanto ponteiros apresentaram seus maiores valores para o tratamento cana crua-queimada. Para folhas e ponteiros o ordenamento, tomando-se o maior valor para a cana crua-queimada igual a 100%, é, respectivamente, 90,53% para cana crua, 80% para cana queimada e 78,95% para cana queimada-crua; e 93% para cana crua, 82% para cana queimada e cana queimada-crua. Diante dos resultados, pode-se inferir que, para o tratamento cana crua-queimada, a senescência das folhas se deu tardiamente, já que por ocasião da colheita, foram detectadas variações na pesagem.

Tabela 20. Produtividade de colmos, folhas e pontas em resposta aos sistemas de colheita em rendimentos absolutos e relativos para o ano agrícola 2009/2010 (4^a soqueira).

Tratamento	Colmos	R.R %	Folhas	R.R %	Ponteiros	R.R %
	----- t ha ⁻¹ -----					
Cana Crua	68,0 A	99,71	8,6 A	90,53	9,3 A	93
Cana Queimada	55,9 A	81,96	7,6 A	80	8,2 A	82
Cana Crua-Queimada	68,2 A	100	9,5 A	100	10,0 A	100
Cana Queimada-Crua	60,6 A	88,86	7,5 A	78,95	8,2 A	82
Média Geral	63,2		8,3		9,0	
C.V.	14,49		17,95		17,82	

* Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,05$).

Os resultados têm clara associação com a afirmação de que a produtividade é influenciada por fatores genéticos, pelas condições edafoclimáticas, pela incidência de pragas e doenças e pelo manejo adotado, pois o estresse hídrico associado ao manejo inapropriado da adubação e da palhada refletiram em menor produtividade da cana crua, quando comparada ao ano anterior e ao sistema CC-Q.

No último ano foram corrigidas as falhas na adubação e na distribuição da palhada. Havendo melhor distribuição de chuvas, espera-se na próxima safra (2011/2012), que a cultura reestabeleça os patamares de produção, com melhor resposta no sistema sem queima.

Pela comparação dos rendimentos da 3^a (2009) e 4^a (2010) soqueiras (Figura 26) nota-se que para o tratamento CQ houve uma queda de 10,2 t ha⁻¹, em relação ao ano anterior, contra apenas 3,3 t ha⁻¹ em CC. Evidenciando, deste modo, os benefícios da cobertura do solo

quanto a manutenção da temperatura e umidade do solo; melhoria em atributos do solo; ciclagem de nutrientes, dentre outros.

Considerando-se as características da área de produção (baixa fertilidade, menor conteúdo de matéria orgânica, e baixa retenção de água) e a fase em que a cultura se encontra, apesar de abaixo da média nacional, as produtividades alcançadas são consideradas elevadas.

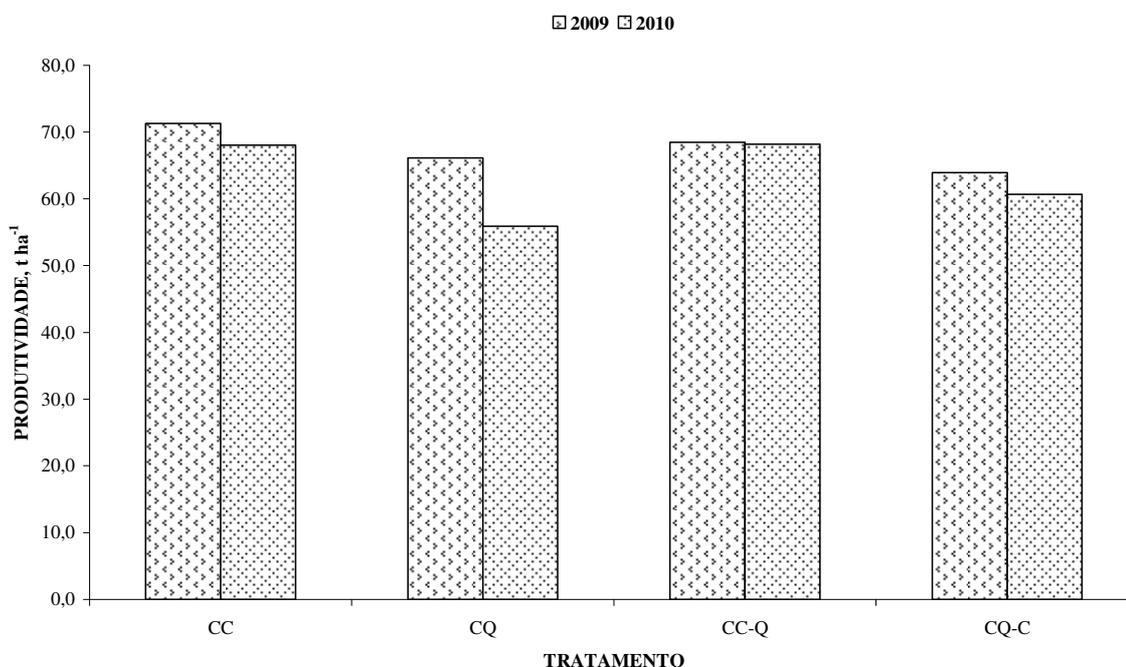


Figura 26. Produtividade de colmos em função do tratamento para os anos de 2009 (3^a soca) e 2010 (4^a soca).

Analisando os tratamentos sucessionais verifica-se que para aquele colhido cru desde a última renovação (CQ-C) a queda de rendimento foi semelhante a observada para CC. Já o tratamento CC-Q praticamente não apresentou redução na produtividade o que pode estar relacionado a características intrínsecas a variedade, ou até mesmo ao método de colheita anterior. Outro benefício da colheita crua, além da já citada manutenção de umidade e temperatura do solo permitindo que a cultura resista a adversidade, é a possibilidade de se prorrogar a renovação do canavial, pois este sistema sustenta produtividades mais elevadas, em comparação a queima, por mais tempo, representando uma vantagem econômica para o produtor, afinal todas os gastos com as atividades necessárias ao novo plantio são adiados. Permitindo novos investimentos ou simplesmente economia.

Vale a pena ressaltar que, ao se pensar no fator pragas e/ou doenças afetando a produtividade, a despalha a fogo promove a destruição das formas biológicas de pragas, exemplo da cigarrinha, especialmente dos ovos em diapausa (DINARDO-MIRANDA, 2002). Com o manejo sem queima, a cigarrinha-das-raízes e a broca do colmo tornaram-se um desafio a ser vencido (MACEDO et al., 2002), uma vez que forma-se uma espessa camada de palha sobre o solo. Algumas informações dão conta que a incidência de cigarrinha e outras pragas ou patógenos é de larga ocorrência em solos argilosos onde se forma uma camada de material vegetal, o que não ocorre nas áreas de produção em Linhares – ES. Segundo Souza et al. (2008), o manejo da palhada resultante da cana crua, considerando as diferentes variedades de cana-de-açúcar, e distintas produções de palha, precisa ser mais bem estudado, pois pode constituir uma ferramenta para vencer este desafio.

Além da solução proposta por Souza et al. (2008), talvez a sucessão das formas de colheita executados na área experimental componha um manejo agrônômico capaz de minimizar os danos causados pela incidência de pragas e doenças. A queima, apesar dos efeitos negativos a longo prazo, aliado a colheita crua pode constituir um manejo racional. Analisando os dados constantes neste trabalho percebe-se que não houve grandes alterações, em termos de fertilidade, salvo pequenas exceções. Assim, pode-se afirmar que a colheita da cana crua tem, inegavelmente, seus benefícios – o que pode ser confirmado pelos dados biológicos, de rendimento agrícola e até mesmo os químicos – mas estes não são imediatos, ocorrem pouco a pouco requerendo anos para ter seus efeitos definidos, isto é, não é uma solução imediata. Isto pode ser reforçado pela citação de Silva (2000) de que alteração do sistema com queima para cana crua, no primeiro ano, o canavial demora a se adaptar as novas condições do sistema solo, onde a deposição da palhada favorece o desenvolvimento da microbiota do solo (MENDOZA, 1996) e, conseqüentemente a competição por nutrientes (SILVA, 2000).

6.6 CONCLUSÕES

Não houve diferenças estatisticamente significativa na produtividade de colmos ou folhas em função dos sistemas de colheita adotados. Mas do ponto de vista agrônomo estas diferenças existem sendo, em geral, maiores para o tratamento cana crua.

A produtividade de ponteiros, em função dos sistemas de colheita, foi significativamente maior para cana crua, sendo atribuída a manutenção da umidade e, conseqüentemente, pelo retardo da senescência promovida pela cobertura do solo por ocasião da 3ª soca.

Para a 4ª soca, a produtividade de colmos foi influenciada tanto pelo manejo da adubação em cobertura e distribuição de palhada inadequados, quanto pelas condições climáticas atípicas que afetaram o crescimento exponencial da cultura.

O tratamento CC quando contrastado ao CQ (manejos mais antigos) proporcionou, mesmo em condições adversas, menores perdas de rendimento entre as socas avaliadas.

A sucessão da forma de colheita por ocasião da renovação do canavial apresenta-se como potencial manejo agrônomo.

7 CONCLUSÕES GERAIS

A comparação entre os tratamentos indica que manutenção da palhada promoveu o enriquecimento superficial do solo, em valores absolutos, quanto aos teores de bases e carbono (aporte de material orgânico), conseqüentemente, elevou a acidez potencial já que esta se relaciona aos compostos orgânicos formados no processo de decomposição. Beneficiou, ainda, a riqueza dos grupos da macrofauna ao oferecer condições favoráveis ao surgimento de indivíduos com diversas estratégias de sobrevivência; a produtividade de pontas (estatisticamente), e a produtividade de colmos (agronomicamente) pela manutenção da umidade e menor amplitude térmica no solo, retardando a senescência.

Em geral, os níveis de fertilidade são baixos, sendo assim a maior contribuição dos tratamentos sem queima - apesar da rapidez com que o material em superfície é decomposto e os teores de carbono no solo se reduzem – relaciona-se aos teores de matéria orgânica no solo. Reforçando a importância da manutenção desses estoques ao sistema solo-planta, principalmente no solo em questão: arenoso e com baixo conteúdo de bases e matéria orgânica.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que os efeitos da substituição da queima pela colheita da cana crua não se expressam imediatamente, sendo requeridos maiores períodos. Também poderia ser pensada a introdução de novas variáveis para avaliação no decorrer destes anos.

Para melhor caracterização da fauna edáfica, sugere-se que sejam desenvolvidos outros estudos utilizando associação de metodologias para a amostragem, de forma a permitir que sua estrutura seja conhecida. Uma vez que nenhum método de coleta é capaz de representar a biodiversidade e sim uma parcela da população, em função de peculiaridades e hábitos desses indivíduos. Assim, caso o método adotado privilegie a captura de certo grupo surgirão problemas relativos à dominância, então técnicas de coleta diferenciadas tendem a uma maior representação da comunidade. Além disso, o conhecimento do papel que cada grupo desempenha no ambiente permite um maior entendimento das relações que são afetadas como resposta as modificações ambientais (do habitat) promovidas pelos sistemas de colheita, indicando ainda que manejos favoreçam a atividade desses organismos levando a melhoria do ambiente produtivo.

São necessários, nesta abordagem, estudos comparativos onde se estabeleça uma área não perturbada (mata ou campo nativo) como referência, pois assim tem-se noção da amplitude das alterações promovidas pelas práticas de cultivo e colheita.

Pode-se também partir para a identificação em nível de espécie dos grupos dominantes determinados neste estudo, afinal dentro de um mesmo grupo as espécies apresentam hábitos diferenciados caracterizando então uma área em recuperação ou degradação.

Seria interessante ainda fazer um balanço entre o aporte de material orgânico na área, considerando o longo tempo do experimento, seu remanescente e a contribuição para os estoques de carbono, entre outros nutrientes. Outro ponto a ser considerado é a avaliação da produtividade entre os sistemas (CC, CQ, CC-Q e CQ-C) estabelecendo diferenças, se possível³, nos rendimentos obtidos entre 1990 (1ª colheita da cana planta) e 2010. Caracterizando, assim, o efeito das formas de renovação em relação à produtividade, e estabelecendo, com maior confiabilidade, a possível utilização dessas sucessões (crua-queimada e queimada-crua) como um manejo agrônomico racional, benéfico, além de importante ferramenta para evitar problemas com incidência de pragas e doenças.

³ Durante o levantamento para histórico dos experimentos foi possível obter dados sobre rendimento da cultura, porém se limitaram aos anos em que trabalhos de mestrado ou doutorado foram desenvolvidos na área.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Efeito residual de fósforo em cana-de-açúcar nos tabuleiros de Alagoas. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 3-1984, São Paulo – SP. Anais ... São Paulo: STAB, 219 p., 1984.
- ALMEIDA FILHO, A. J. Impacto ambiental da queima controlada da cana-de-açúcar sobre a entomofauna. 1995. 64p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical Soil Biological and Fertility: A handbook of methods. 2 ed. Wallingford: CAB International, Estados Unidos, 221p., 1993.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Soil fauna. In: _____ Tropical Soil Biological and Fertility: A handbook of methods. 2. ed. Wallingford: CAB International, Estados Unidos, p. 44-46; 1993.
- AQUINO, A. B.; AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDES, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHÔA, S. C. O.; FERNANDES, V. L. B. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza:UFC, 248 p., 1993.
- AQUINO, A. M. Manual para coleta de macrofauna do solo. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 21p., maio 2001. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130)
- ARAÚJO, M. S.; DELLA LUCIA, T. M.; RIBEIRO, G. A.; KASUYA, M. C. M. Impacto da queima controlada da cana-de-açúcar na nidificação e estabelecimento de colônias de *Atta bisphaerica* Forel (Hymenoptera: Formicidae). Neotrop. Entomol., vol. 32, n° 4, p.685-69, Londrina, Oct./Dec. 2003.
- ARAÚJO, M. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; PICANÇO, M. C. Impacto da queima da palhada da cana-de-açúcar no ritmo diário de forrageamento de *Atta bisphaerica* Forel (Hymenoptera, Formicidae). Revista Brasileira de Zoologia, vol. 21, n° 1, p.33-38, março 2004.
- ASSAD, M. L. L. A fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T. e HUNGRIA, M. (Ed.). Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina: Embrapa – CPAC, p.363-443, 1997a.
- ASSAD, M. L. L. Papel da macrofauna edáfica de invertebrados no comportamento de solos tropicais. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, Rio de Janeiro. Conferências..., CD-ROOM, Rio de Janeiro, SBCS, 1997b.
- BANDEIRA, A. G.; VASCONCELLOS, A. Efeitos de perturbações antrópicas sobre as populações de cupins (Isoptera) do Brejo dos Cavalos, Pernambuco. Disponível em: <http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/libros/Caatinga/parte5_brejos.pdf>; Acesso em: 09 fev. 2011.
- BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. Appl. Soil Ecol., Amsterdam, vol. 26, p.157–168, 2004.
- BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E. C. M.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. Pedobiologia, vol.47, p.273-280, 2003.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, vol.21, n° 1, p. 105-112, 1997.

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, p.9-26, 1999.
- BELL, M. J.; STIRLINGAND, G. R.; PANKHURST, C. E. Management impacts on health of soils supporting Australian grain and sugarcane industries. Soil and Tillage Research, vol. 97, nº 2, p. 256-271, 2007.
- BELLINGHINI, R. H. Uma planta, uma usina. Valor Econômico, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.megacorretora.com.br/noticias_item.php?id=63>, acesso em 21 jan 2011.
- BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L. Colheita mecanizada da cana crua. Caminho sem volta. Disponível em <<http://www.afcrc.com.br/noticias/lenoticia.asp?id=94>>; acesso em: 28 jun. 2009.
- BERNARDES, F. Tentativa de adiar fim das queimadas no Estado é vetada pelo governo. 2010. Disponível em: <http://www.seculodiario.com/exibir_not.asp?id=5060>; acesso em: 16 fev. 2010;
- BIANCHI, M. O.; AQUINO, A. M.; ALMEIDA, E. . Distribuição vertical da macrofauna do solo em várias safras do milho agroecológico em área do produtor familiar. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado - RS. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo-Conquistas e desafios da Ciência do solo brasileira, 2007. (CD-ROM)
- Biodieselbr Online Ltda.; PRO-álcool; Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/proalcool-producao-mundo.htm>>; acesso em: 05 ago. 2009.
- BRAY, S. C. A cultura da cana-de-açúcar no Vale do Paranapanema: um estudo de geografia agrária. 1980. 304 p.; Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BRUM, A. J. O desenvolvimento econômico brasileiro. 11ª Edição – Rio de Janeiro – Editora Vozes Ltda, 317p., 1991.
- BRUYN, L. A. L. de. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 74, p.425-441, 1999.
- CAMPOS, D. C., Potencialidades do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono. 2003. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. R. Bras. Ci. Solo, vol. 27, p.935-944, 2003.
- CANTAZONI, G. Análise espacial da macrofauna edáfica sob diferentes condições ambientais do trópicos úmidos. 2010. 202p. Tese (Doutorado em Ciência) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.
- CAVALCANTE, F. S. Análise temporal do rendimento de cana-de-açúcar em relação à posição de plantio na topossequência do solo. 2008. 96 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB.
- CEDDIA, M. B. Implicações técnicas e alterações físicas provocadas pelo sistema de corte da cana-de-açúcar em solo de tabuleiro no Espírito Santo. 1996. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico

- Amarelo no Estado do Espírito Santo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol. 34, nº 8, p.1467-1473, 1999.
- CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P.; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, vol. 6, p.32-38, 1987.
- CHANG, H.; WANG, J. S.; HO, F. W. The effect of different pan ratio for controlling irrigation of sugarcane in Taiwan. In: International Society of Sugar Cane Technologists, 13, 1968, Formosa. Proceedings ... Formosa: Lianjing, vol. 13, p.652-663, 1968.
- CHRISTENSEN, N. L. Short-term effects of mowing on soil nutrients in Big Meadows, Shenandoah National Park. Journal Range Manage., vol. 29, p.508-509, 1976.
- COLINVAUX, P. A. Ecology. New York: John Wiley, 725p., 1986.
- COLLETT, N. G. Effects of two short rotation prescribed fires in autumn on surface-active arthropods in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria. For. Ecol. Manag., vol. 107, p.253-273, 1998.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2009/2010. Terceiro levantamento. Dez. 2010.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2010/2011. Terceiro levantamento. Jan. 2011.
- CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science, vol. 199, p.1302-1310, 1978.
- CONSTANTINO, R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SILVA, J. C. S.; FELFILI, J. M. (Ed.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.319-333, 2005. Disponível em: <<http://vsites.unb.br/ib/zoo/docente/constant/pub/pdf/Constantino2005Cerrado.pdf>>; Acesso em: 09 fev. 2011.
- COPERSUCAR. COOPERATIVA de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/moderna_agroind.asp>; acesso em: 13 jul. 2009.
- CORDEIRO, F. C.; DIAS, F. C.; MERLIM, A. O.; CORREIA, M. E F., AQUINO, A. M.; BROWN, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. Rev. Univ. Rural, Sér. Ci. Vida. Seropédica, RJ, EDUR, vol. 24, nº 2, p.29-34, 2004.
- CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. Fauna do solo: aspectos gerais e metodológicos. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, Seropédica, 46p., 2000. (Documento, 112)
- CORREIA, M. E. F.; PINHEIRO, L. B. A. Monitoramento da fauna de solo sob diferentes coberturas vegetais em um Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, (RJ). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 15 p., 1999. (Embrapa-CNPAB. Circular Técnica, 3).
- COSTA, C; VANIN, S. A.; CASARI-CHEN, S. A. Larvas de Coleoptera do Brasil. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo: FAPESP, 282 p., 1988.
- COSTA, P. Fauna do solo em plantios experimentais de *Eucalyptus grandis* Maiden, *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Acacia Mangium* Willd. 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.
- COUTINHO, E. L. M; NATALE, W.; SOUZA, E. C. A. Adubos e corretivos: aspectos particulares na olericultura. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P.(Ed.). Nutrição e adubação de hortaliças. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.85–140, 1993.

- COUTINHO, L. M. O uso do fogo em pastagens naturais brasileiras. In: PUIGNAU, J. P. Utilización y manejo de pastizales. Montivideo, Uruguay: IICA-PROCISUR (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), 266p., p.159-168, 1994. (DIALOGO XL).
- CSIRO. The insects of Austrália: a textbook for students and research workers, 2 vol., 2 ed. Cornell University Press, New York, 1136p., 1991.
- CURRY, J. P. Grassland invertebrates. Ecology, influence on soil fertility and effects on plant growth. London, Chapman e Hall, 437p., 1994.
- DALLAGO, J. S. Utilização da cinza de biomassa de caldeira como fonte de nutrientes no crescimento de plantas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). 2000. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.
- DANGERFIELD, J. M.; TELFORD, S. R. Species diversity of julid millipeds: between habitat comparisons within seasonal tropics. *Pedobiologia*, vol. 36, p.321-329, 1992.
- DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M. Manejo do solo e a dinâmica da fauna edáfica. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/ManejoSolo/index.htm>; acesso em: 13 set. 2009.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. O papel da retirada da palha no manejo da cigarrinha das raízes. *STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, vol. 20, p.23-24, 2002.
- DINDAL, D. Soil biology guide. Ed. John Wiley and Sons. New York, 1348 p., 1990.
- DIDDEN, W. A. M. Ecology of terrestrial Enchytraeidae. *Pedobiologia*, vol. 37, p.2-29. 1993.
- DLAMINI, T. C.; HAYNES, R. J. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology*, vol. 27, n° 1, p.77-88, 2004.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 193p., 1979. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33)
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro - RJ, 212p., 1997.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 306 p., 2006.
- EMBRAPA/CNPq; CANA-de-açúcar; Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açúcar/Abertura.html>>; acesso em 15 ago. 2009.
- EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. Boletim técnico, Rio de Janeiro, RJ, Embrapa/SNLCS, n° 45, 461p., 1978.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS, 1979.
- ESPIRONELO, A.; COSTA, A. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, J. C. V. A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P.; RAMOS, M. T. B. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. *Bragantia*, Campinas, vol. 46, n° 2, p.247-268, 1987.
- FASSBENDER, H. W. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. 2. ed. rev. San José, Costa Rica, IICA, 420p.; 1987.
- FRANCO, H. C. J. Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada da cana-planta. 2008. 127 p.; Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.

- GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (ED). Crop water relations. New York: John Willey, p.445-479, 1983.
- GILBERT, R. A.; SHINE JUNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RICE, R. W.; RAINBOLT, C. R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. Field Crops Research, vol. 95, p.156-170, 2006.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. Soil Science, vol.162, n° 7, p.479-486, 1997.
- GIRACCA, E. M. N.; ELTZ, F. L. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; WENDLING, A.; VENTURINI, E. F. Macrofauna em solo sob plantio direto com diferentes doses de calcário. XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água; Cuiabá – MT; 21 a 26 de julho de 2002. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/eventos/XIVManejo.php>>; acesso em 16 dez. 2009.
- GOMES, J. F. F. Produção de colmos e exportações de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). 2003. 65p.; Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.
- GOSSSELIN, F. An assessment of the dependence of evenness indices on species richness. Journal of Theoretical Biology, vol. 242, p.591-597, 2006.
- GREENSLADE, P. J. M.; MOTT, J. J. Ants of native and sown pastures in the Katherine area, Northern Territory, Australia (Hymenoptera: Formicidae). p.153-156. In: CROSBY, T. K.; POTTING, R. P. (Eds). Proceedings of the 2nd Australasian Conference on Grassland Invertebrate Ecology. Paumerston North, Wellington Govt. Print, 294p., 1978.
- GUEDES, C. A. B. Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita. 2002. 92 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- HÅGVAR, S. Mites (Acari) developing inside decomposing spruce needles: Biology and effect on decomposition rate. Pedobiologia, vol. 42, p.358-377. 1998.
- HARTT, C. E. Effects of moisture supply upon translocation and storage of C14 in sugarcane. Plant Physiology, vol. 42, p.338-346, 1967.
- HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Acumulação de forragem e material morto em pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo em relação às queimadas. Revista Brasileira de Zootecnia, vol. 31, n° 2, p.599-604, 2002
- HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. Cienc. Rural, vol. 32, n° 2, Santa Maria, 2002.
- HISÃO, T. C. Plant response to water stress. Plant Physiology, n° 24, p.519-570, 1973.
- JACOMINE, P. K. T. Fragipans em solos de “tabuleiros”; características, gênese e implicações no uso agrícola. 1974. 83p. Tese (Doutorado em Livre Docência) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE.
- JACQUES, A.V.A. Sítio do Pinheirinho: uma pequena experiência de 37 anos. RST 470 km 150, André da Rocha, RS, 9p., 2002. (Relatório)
- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. Rev. Bras. Ci. Solo, vol. 32, p.405-416, 2008.

- KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, n° 61, p.61-76, 2001.
- KLADIVKO, E. J., MACKAY, A. D.; BRADFORD, J. M. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. *Soil Sci. Am. J.*, vol. 50, p.191-196, 1986.
- KLEPKER, D. e ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, vol. 19, n° 3, p.395-401, 1995.
- KOFLER, N.F; DONZELI, P. L. Avaliação de solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.) *Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização*. Campinas. Fundação Cargil, vol. 2, p.19-41, 1997.
- KOZLOWSKI, T. T.; AHLGREN, C. E. *Fire and ecosystems*. New York, Academic Press, 542p., 1974.
- LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; *et al.* The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WILEY, J., SONS. *The biological Management of Tropical Soil Fertility*. United Kingdom: TSBF and Sayce.; Cap. 6, p.137-170, 1994.
- LEITE, G. G.; GOMES, A. C.; NETO, R. T.; NETO, C. R. B. Expansão e senescência de folhas de gramíneas nativas dos Cerrados submetidas a queima. *Pasturas Tropicais*, Cali, vol. 20, n° 3, p.16-21, 1998.
- LEITE, R. L. L. Cultivares de cana-de-açúcar em solos da região Norte do Estado do Tocantins. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical) - Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Araguaína, Araguaína – TO.
- LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; LEITE, L. F. C.; SILVA, P. H. S. da; CASTRO, A. A. J. F.; OLIVEIRA, F. C. Diversidade da macrofauna edáfica em agroflorestas de diferentes estádios sucessionais. *Revista Brasileira de Agroecologia*. vol. 2, p.1029-1033, 2007.
- MACEDO, N. M.; BOTELHO, P. S. M.; CAMPOS, M. B. S. Controle químico de cigarrinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. *Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, vol. 21, p.30-33, 2003.
- MACEDO, N.; BOTELHO, P. S. M.; RIBEIRO, L. D.; STUPIELLO, J. J.; PETRI, J.; OLIVEIRA, P. F. M.; SOARES, R. A. B. Número e época de aplicações de inseticidas no controle de cigarrinha da raiz *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19, Manaus, 2002. Anais... Manaus: SEB, 2002. (CD-ROM)
- MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS S. B. (Ed.). *Cana-de-açúcar cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, p.271-332, 1987.
- MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo de cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, vol. 39, n° 11, p.1127-1132, nov. 2004.
- MAJER, J. D. Short-term responses of soil and litter invertebrates to a cool autumn burn in Jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest in Western Australia. *Pedobiologia*, vol. 26, p.229-247, 1984.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201p., 1989.
- MANHÃES, M. S. Fósforo em dois solos cultivados com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida em sistemas de cana-crua e queimada. 1996. 278p. Tese (Pós Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

- MARÇAL, C. T. Efeitos da cultura da cana-de-açúcar e seu manejo (uso de vinhaça e método de colheita) sobre a mesofauna do solo. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.
- MARTINHO, A. da F.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; FERNANDES, M. M.; MALHEIROS, M. G.; ZONTA, E. Mesofauna em Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos. In: Fertbio 2004, Lages. Fertbio 2004. Lages: UDESC – Depto. de Solos - SBCS, vol. 1, p.1-1, 2004.
- MARTINS, P. F. S.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F. Efeito do desmatamento e do cultivo sobre características físicas e químicas do solo sob floresta natural na Amazônia Oriental. Revista IG. São Paulo, 8-10, vol. 11, nº 1, p.21-33, 1990.
- MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. Scientia Agricola, vol. 58, nº 2, p.295-301, 2001.
- MEDEIROS, M. Governo sanciona lei que proíbe queimadas nas colheitas de cana. 2008. Disponível em: <http://www.seculodiario.com.br/exibir_not.asp?id=2040>; acesso em 13 set. 2009.
- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; et al. Fertilidade do solo. 2. ed. São Paulo, Nobel, 400p.; 1985.
- MELO, F. A. D.; FIGEIREDO, A. A.; ALVES, M. C. P.; FERREIRA, U. M. Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em diferentes fundos agrícolas da região Norte do Estado do Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7, 1998. Londrina, Anais... Piracicaba: STAB, p.198-202, 1999.
- MENDONÇA, E. S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. R. Bras Ci. Solo, vol. 19, p.25-30, 1995.
- MENDOZA, H. N. S. Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo. 1996. 114p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.
- MENDOZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, vol. 24, nº 1, p.201-207; 2000.
- MENEZES, C. E. G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral – RJ. 2008. 163 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.
- MERLIM, A. O. Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no Parque Estadual de Campos de Jordão, SP. 2005. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP.
- MOÇO, M. K.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. R. Bras. Ci. Solo, vol. 29, p.555-564, 2005.
- MOLINA, R.M. A torta de filtro e o bagaço no comportamento da biota, propriedades físicas e produtividade de um solo cultivado em cana-de-açúcar. 1995. 90 p.; Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- MOREIRA, F. M. S.; HUISING, J.; BIGNELL, D. E. Manual de Biologia dos Solos Tropicais Amostragem e Caracterização da Biodiversidade. 1. ed. Lavras: UFLA, vol. 1. 368 p.; 2010.

- NAVES, M. A. Efeito do fogo na população de formigas (Hymenopetra: Formicidae) em cerrado do Distrito Federal. p.170-177. In: Anais do Simpósio Impacto de queimadas em áreas de cerrado e restinga. Brasília, 187p., 1996.
- NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DEBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. Fire effects on belowground: a review and synthesis. For. Ecol. Manag., vol. 122, p.51-71, 1999.
- NG, T. T.; WILSON, J. R.; LUDLOW, M. M. Influence of water stress on water relations on growth of a tropical (C4) grass, *Panicum maximum* var. *trichoglume*. Aust. J. Plant Physiol., vol. 2, nº 2, p.581-595, 1975.
- NOBLE, A. D.; MOODY, P.; BERTHELSEN, S. Influence of changed management of sugarcane on some soil chemical properties in the humid wet tropics of north Queensland. Australian Journal of Soil Research, vol. 41, nº 6, p.1133-1144, 2003.
- ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Guanabara, 434p., 1988.
- OLIVEIRA, J. B., JACOMINE, P. K. T., CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2. ed. Jaboticabal, FUNEP, 201p.; 1992.
- OLIVEIRA, J. C. M.; TIMM, L. C.; TOMNAGA, T. T.; CÁSSARO, F. A. M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO NETO, D.; CÂMARA, G. M. S. Soil temperature in a sugar-cane crop as a function of the management system. Plant and Soil, vol. 230, nº 1, p.61-66, 2001.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada da cana-de-açúcar. Sci. agric., vol. 56, nº 4, p.803-809, Piracicaba, 1999a.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol.34, p.2359-2362, 1999b.
- ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/Planalsucar, 369p., 1983.
- ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H. B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. STAB, vol.16, nº 6, p.30-33; 1998.
- PASQUALIN, L. A. Influencia da vinhaça e do método de colheita sobre a macrofauna edáfica na cana-de-açúcar. 2009. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.
- PEIXOTO, A. A. Cultivo de cana-de-açúcar e conservação dos solos nos Estados da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Alcool e Açúcar, São Paulo, nº 30, p.42-52, 1986.
- PINHEIRO, B. A.; SANTOS, G. A. S.; GARAY, I. E. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar na população de macroartrópodos edáficos. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13, Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS; C3, 73p.; 1996.
- PINHEIRO, E. F. M. Frações orgânicas e agregação em Latossolo em função de sistemas de preparo do solo de oleráceas em Paty do Alferes, RJ. 2002. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- PINHEIRO, E. F. M. Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. 2007. 98 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- PINHEIRO, L. B. A. Estudo da macrofauna de solos cultivados com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos de colheita – crua e queimada. 1996. 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, POTAFOS, 142p.; 1987.
- RAMOS, F.A.P. Comportamento da cana-de-açúcar SP79-1011, submetida a diferentes épocas de plantio em duas condições edafoclimáticas. 2006. 51 p.; Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Areia - PB.
- RAVELLI NETO, A.; LIMA, E. Caracterização de uma topossequência de solos sobre sedimentos do Terciário e Quaternário em Linhares-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1987, Campinas. Programas e resumos... Campinas: SBCS, p.166, 1987.
- REIS, M. S. Composição granulométrica e características químicas do solo de uma topossequência sob pastagem, numa frente pioneira da microrregião de Marabá-PA. 2005. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém – PA.
- RESENDE, A. S.; QUESADA, D. M.; OLIVEIRA, O. C.; GONDIM, A.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. 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, 1998.
- RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. Plant and Soil, vol. 281, nº 1-2, p.339-351, 2006.
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, vol. 22, nº 4, p.713-21, 1998.
- RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. Ciência Rural, Santa Maria, vol. 33, nº 1, p.49-55, 2003.
- ROCHA, A. T. Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial. 2007. 69 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE.
- ROSOLEM, C. A.; COSTA, A. Cotton growth and boron distribution in the plant as affected by a temporary deficiency of boron. Journal of Plant Nutrition, Madison, vol. 23, p.815-825, 2000.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L.; VITTI, A. C. Manutenção da fertilidade e recuperação dos solos na cultura da cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br/cana/Coletanea.php?cap=3>>; acesso em 27 ago. 2009.
- ROSSI, C. Q.; NOBRE, C. P.; COELHO, C. P.; BENAZZI, E. S.; RODRIGUES, K.; CORREIA, M. E. F. Efeito de diferentes coberturas vegetais sobre a mesofauna edáfica em manejo agroecológico. Revista Brasileira de Agroecologia, vol. 4, p.1326-1330, 2009.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. e ALVES, G. D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, vol. 9, p.33-38, 1985.
- SALVADOR, F. Cana-de-açúcar deve ter recorde de produção na safra 2010/11, diz Conab. Agência Estado, Estadão Digital – O Estado de S.Paulo. 2010. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/Economia+,cana-de-acucar-deve-ter-recorde-de-producao-na-safra-201011-diz-conab,not_15814.htm>, acesso em: 07 jan. 2011.

- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. e CAVALCANTI, F. J. A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. III - teor de nutrientes e distribuição radicular no solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, vol. 22, p.425-431, 1987.
- SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Rev. bras. fisioter.*, vol. 11, nº 1, p.83-89, 2007.
- SANCHES, A. C. Alterações nas propriedades de um Podzólico Vermelho-Amarelo resultantes da substituição da mata natural pela cultura da laranja. 1998. 49p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP.
- SANTOS, G. A. Influência do tratamento térmico sobre o alumínio livre do solo. 1976. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- SANTOS, G. G; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, vol. 43, nº 1, p.115-122, jan. 2008.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, vol. 29, nº 2, p.259-265, 1999.
- SANZONOWICZ, C. Recomendação e prática de adubação e calagem na região centro-oeste do Brasil. p.309-334. In: MATTOS, H. B. (Ed.). *Calagem e adubação de pastagens*. Anais/editado. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 476p., 1986.
- SASTRIQUES, F.O. La materia orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba. La Habana, Academia de Ciencias de Cuba, 126p.; 1982.
- SATCHEL, J. E. Measuring population and energy flow in earthworms. In: *Methods of study in soil ecology*. Proceedings of the Paris Symposium organized by UNESCO and The International Biological Programme, p.260-266, 1979.
- SCHACHT, W. H., STUBBENDIECK, J., BRAGG, T. B.; SMART, A. J.; DORAN, J. W. Soil quality response of reestablished grasslands to mowing and burning. *Journal Range Management*, Denver, vol. 49, nº 5, p.458-463, 1996.
- SEC. de Estado da Agric., Pec. e Abastecimento de MG; CANA-de-açúcar; Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=26702>>; acesso em 12 ago. 2009.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, vol. 3, p.249-254; 1985.
- SILVA, A. J. N. e RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: propriedades químicas. *R. Bras. Ci. Solo*, vol. 22, p.291-299, 1998.
- SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. *Soil and Tillage Research*, vol. 94, nº 2, p.420-424, 2007.
- SILVA, J. M. L. Caracterização e classificação de solos do Terciário no Nordeste de Estado do Pará. Itaguaí, 1989. 190p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- SILVA, L. A. 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 da

primeira soca. 2000. 134p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

SILVA, L. A. Dinâmica do nitrogênio da uréia (^{15}N) e utilização do N (^{15}N) da palhada em cana soca colhida sob diferentes sistemas de manejo. 2004. 46 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.

SILVA, R. F. Roça caçara dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e fauna do solo em um ciclo de cultura. 1998. 165 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no cerrado. Acta Sci. Agron. Maringá, vol. 30, supl., p.725-731, 2008.

SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, J. C. C.; GUEDES, W. B.; ARAÚJO, J. F. Estudo da viabilidade do cultivo mínimo nos tabuleiros costeiros da região nordeste do Brasil. In: Congresso Nacional da STAB, 4., Olinda, PE. Anais... Olinda: STAB, 4., p.139-143, 1987.

SKJEMSTAD, J. O.; TAYLOR, J. A.; JANIK, L. J.; MARVANEK, S. P. Soil organic carbon dynamics under long-term sugarcane monoculture. Australian Journal of Soil Research, vol. 37, nº 1, p.151-164, 1999.

SNYDER, B.A.; HENDRIX, P.F. Current and potencial roles of soil macroinvertebrates (earthworms, milipedes and isopods) in ecological restoration. Rest. Ecol., vol. 16, p.629-636, 2008.

SOARES, S. C.; MOURA, C. R. W.; COLTRI, P. P.; MACEDO JUNIOR, C. Efeitos do El Niño e da La Niña na agricultura brasileira. 2008. Disponível em: <<http://www7.cptec.inpe.br/noticias/faces/impresao.jsp?idConsulta=8530eidQuadros=>>>; acesso em: 04 de mar. de 2010.

SOCARRÁS, A. La vida del suelo: un indicados de su fertilidad. In: Agricultura orgânica, vol. 1, p.12-13; 1998.

SOUZA. L. S.; VIEIRA NETO, R. D. Cultivo da banana para o ecossistema dos tabuleiros costeiros. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de Produção, 4. Versão eletrônica, jan/2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaTabCosteiros/solos.htm>>; Acesso em: 03 de mar. 2010.

SOUZA, T. M.; ALVES, M. C.; DURIGAN, M. R.; MARCHINI, D. C.; BONINI, C. S. B. Índices de Shannon e Pielou na caracterização de macrorganismos de um Latossolo em recuperação há 17 anos. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_07620572627.pdf>; Acesso em 25 jan.. 2011.

SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R.; MONTANARI, R. Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum cigarrinha-da-raiz em canavial colhido sem queima. Bragantia, vol.67, nº 2, p.261-266, 2008.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. Pesq. agropec. bras., Brasília, vol. 40, nº 3, p.271-278, mar. 2005.

STORK, N. E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. Am. J. Altern. Agricult., Greenbelt, vol. 7, nº 1-2, p. 38-47, 1992.

- TAVARES, O. C. H. Crescimento da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes sistemas de plantio e colheita. 2007. 94p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.
- TAVARES, O. C. H. LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, vol. 32, nº 1, p.61-68, 2010.
- TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M.; BORÉM, A.; SILVA, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Bragantia*, Campinas, vol. 62, nº 1, p.119-126, 2003.
- TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduo da cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, vol. 26, p.637-646, 2002.
- UNICA; CANA-de-açúcar; Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>; acesso em 07 jul. 2009.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. A importância de não queimar a palha na cultura da cana-de-açúcar. *Embrapa – CNPDS*, nº 5, p.1-6, mar. 91. (Comunicado Técnico)
- VASCONCELOS, A. C. M. Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - SP.
- VERHOEF, H. e WITTEVEEN, J. Water balance in Collembola and its relation to habitat selection; cuticular water loss and water uptake. *Journal of Insect Physiology*, vol. 26, p.201-208. 1980.
- WILLMS, W.; BAILEY, A. W.; McLEAN, A.; KALMIN, C. Effects of fall clipping or burning on the distribution of chemical constituents in blue bunch wheatgrass in spring. *Journal Range Manage*, vol. 34, nº 4, p.267-269, 1981.
- WRIGHT, R. J. Soil aluminum toxicity and plant growth. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.*, New York, vol. 20, nº 15/16, p.1479-1497; 1989.
- WOOD, A. W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. *Soil e Tillage Reseach*, vol. 20, p.69-85, 1991.
- YADAY, D. V.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A. K. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. *Biological Wastes*, vol. 20, p.133-141, 1987.
- ZANINE, A. M.; DINIZ, D. Efeito da queima sobre o teor de umidade, características físicas e químicas, matéria orgânica e temperatura no solo sob pastagem *Revista Electrónica de Veterinária REDVET*, Vol. VII, nº 04, Abril/2006. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040406.html>>, acesso em: 30 jan. 2011.

10 ANEXOS

✓ Anexo 1

“...biorrefinarias capazes de produzir solventes, tintas, fertilizantes, inseticidas e todo tipo de biomateriais a partir de variedades de cana-de-açúcar geneticamente projetadas para esse fim.”

Uma planta, uma usina

Por Ruth Helena Bellinghini, para o Valor, de São Paulo - 14/05/2010

Quando Martim Afonso de Souza aportou por aqui trazendo na bagagem mudas de cana-de-açúcar, uma gramínea nativa do Sudeste Asiático, estava lançando as raízes para que o Brasil se transformasse, no futuro, no país do açúcar e do álcool. Desde 2005, somos o maior produtor do mundo de açúcar. A Índia vem em seguida.

Hoje, é no álcool produzido a partir da cana - o etanol - que o Brasil aposta para solidificar uma posição inédita no cenário internacional, a de líder na produção de biocombustíveis, e sem competidores à sua altura. O etanol de milho, produzido nos Estados Unidos, consome mais energia para sua produção do que gera e há críticas ao emprego do grão nessa produção, com temores de que provoque alta de preços para rações, por exemplo. O mesmo vale para a produção de etanol a partir de beterraba, especialidade dos europeus.

O problema é que esses países detêm recursos e tecnologias de ponta e estão dispostos a entrar na corrida pelo chamado etanol de segunda geração, aquele produzido a partir da quebra da celulose, o açúcar que compõe a parede celular das plantas. Em tese, qualquer planta poderia ser usada para produzir etanol combustível, de galhos caídos numa floresta à grama regularmente cortada dos jardins, passando por algas e palha seca. Por isso, o governo brasileiro, através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) está investindo pesado para manter a liderança do país no setor, tanto em ciência básica, que produz conhecimento, como em ciência aplicada, que gera inovação e tecnologias.

“Chegou o momento de conhecer realmente a cana-de-açúcar, entender sua biologia e seus genes, para produzir mais no mesmo espaço, aumentando a produtividade de forma racional e eficiente”, diz a pesquisadora Helaine Carrer, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba. “Muito do que ganhamos até agora, em termos de produtividade, se deve a estudos agrônômicos, ou seja, qual a quantidade ideal de água, quando acrescentar fertilizante a esta ou aquela variedade desenvolvida ao longo dos anos por melhoramento genético convencional”, explica Helaine, que está usando genes da própria cana na tentativa de desenvolver variedades transgênicas.

Para entender o desafio que Helaine e outros pesquisadores têm pela frente é bom lembrar das aulas do ensino médio ou do cursinho, em que se aprende que seres humanos são diplóides, isto é, têm dois conjuntos de genomas - um que vem do pai, outro que vem da mãe. A cana tem oito genomas, resultado de milhares de anos de domesticação e cruzamentos, 120 cromossomos (seres humanos têm 46), num total de cerca de 10 bilhões de pares de bases (os A, T, C e G que compõem o DNA ; seres humanos têm 3,2 bilhões).

Um dos objetivos do laboratório de Helaine - que é financiado pelo Programa Fapesp de Pesquisa em Bioenergia (Bioen) e integra o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (INCT), do MCT - é produzir, por exemplo, uma variedade de cana tolerante à seca, isto é, que não necessite de muita água no início de seu desenvolvimento. Segundo a pesquisadora, tudo que se pode obter a partir da transgenia - a introdução de genes de interesse no material genético da planta - também se pode conseguir por meio de cruzamentos convencionais. A diferença está na rapidez com que se obtém a variedade com a

característica desejada: o melhoramento convencional leva, em média, 12 anos para produzir um novo cultivar, mas a transgenia acelera o processo de melhoramento em alguns anos. Ou, pelo menos, deveria.

Até agora, a cana tem ganho de goleada dos pesquisadores. “Tudo funciona perfeitamente no laboratório e nas mudas, mas, quando elas são plantadas, os transgenes são silenciados”, explica Helaine. No jargão dos pesquisadores, isso quer dizer que o efeito desejado - tolerância à seca, maior produção de uma proteína ou outra - simplesmente desaparece. A suspeita de cientistas é que, no campo, aquele mundaréu de genes da cana se recombina de tal forma que o efeito da transgenia some. “Isso só mostra como ainda precisamos avançar na ciência básica. Não dispomos do sequenciamento do genoma completo da cana, temos apenas 290 mil ESTs.” Essa é a sigla em inglês para “expressed sequence tags”, pequenas sequências de DNA, identificadas através do RNA mensageiro que codificam (o RNAm é aquele que leva a informação do DNA do núcleo para os ribossomos, onde as proteínas são produzidas). “Falta a gente saber o que faz cada gene, como são regulados, como interagem com o ambiente. Ou seja, precisamos de muita ciência básica ainda”, diz Helaine.

Glaucia Souza, coordenadora do Bioen e professora associada do Instituto de Química da USP, concorda e vai além. “O que queremos é desenvolver a chamada ‘cana-energia’, uma planta que produza mais energia, mas não necessariamente mais açúcar. Ou seja, precisamos transformar uma planta que evoluiu para produzir açúcar em uma planta que funcione como uma usina de energia e aumentar sua produtividade de forma sustentável.” De acordo com Glaucia, a produtividade média brasileira hoje está em torno de 80 toneladas por hectare, índice que cai para entre 60 e 65 toneladas no Nordeste e chega a 220 toneladas numa fazenda da Bahia, que utiliza irrigação. Na opinião de Glaucia, com melhoramento genético, essa média pode chegar a 380 toneladas por hectare.

Uma das alternativas para esse aumento de produtividade estaria numa modificação genética que aumentasse a fixação de carbono pela planta. Os vegetais captam o carbono da atmosfera - na forma de CO₂ - e, por meio da fotossíntese, o transformam em açúcar. “Se a cana ‘decide’ que vai crescer, ela fixa esse carbono sob a forma de celulose, na parede celular; se ele é fixado no colmo da planta, vira sacarose. O que queremos saber, entre outras coisas, é como a planta toma essa decisão, que genes estão envolvidos nesse processo”, diz Glaucia. Na tentativa de compreender o genoma da cana, foi criado um consórcio internacional que reúne cientistas do Brasil, Estados Unidos, França, África do Sul e Austrália, com o objetivo de sequenciar os 10 bilhões de pares de bases de DNA de um cultivar. “Este é hoje um dos maiores desafios da genômica”, afirma Glaucia, que também coordena o Sucest-FUN, banco de dados que reúne e integra informações geradas por pesquisas nessa área. Todas essas iniciativas têm forte apoio da indústria sucro-alcooleira.

A chave dessa transformação se chama biomassa, o conjunto da matéria orgânica produzida pela planta. O etanol que se produz hoje é o chamado de primeira geração, obtido a partir da fermentação do caldo da cana. Obviamente, esse processo incorporou muita tecnologia desde os tempos em que Martim Afonso construiu seu engenho no Brasil. O pote de ouro no fim do arco-íris, hoje, para os pesquisadores não está mais na sacarose da cana, mas na celulose, presente no bagaço e na palha da cana. Na ponta do lápis, aproveita-se hoje para produção de etanol apenas um terço da energia contida na cana, aquela extraída do caldo.

De novo, as aulas do cursinho. Ao longo da evolução, as plantas desenvolveram paredes de celulose, um açúcar complexo formado por unidades de glicose, que tem entre suas funções dar sustentação à planta e protegê-la contra as investidas de bactérias e fungos. Em teoria, a quebra (hidrólise) da celulose das paredes celulares da cana permitiria triplicar a produção brasileira, sem que fosse necessário ampliar a área atualmente plantada.

“A ideia é que a hidrólise da celulose libera açúcar que, então, poderia ser fermentado e produzir o etanol de segunda geração”, diz Glaucia. O trabalho é gigantesco. Tanto que, dos 55 projetos de pesquisa financiados hoje pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), 27 envolvem celulose. “Precisamos entender a parede celular da planta, conhecer a estrutura da celulose, suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que podem mudar de planta para planta, de cultivar para cultivar, dependendo da variedade de cana, e existem centenas delas.”

Entre 80% e 90% de um pé de cana se compõem de água. Descontando-se a água, 70% do que resta é parede celular, ou seja, açúcar: celulose, hemicelulose e pectina. Se, à primeira vista, a ideia dos cientistas parece lógica e viável, uma visão mais detalhada da tarefa que têm pela frente mostra como o caminho é difícil. Eles querem hidrolisar - ou seja, quebrar pela água - uma molécula que é hidrófoba, tem aversão à água. Mais: planejam usar para isso um coquetel de enzimas produzidas por fungos e bactérias, justamente os inimigos naturais contra os quais a parede de celulose evoluiu para defender a planta. Marcos Buckeridge, botânico da USP e diretor científico do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), ligado ao MCT, explica a trabalhadeira.

“A celulose é um polissacarídeo composto por várias moléculas de glicose que se empilham e grudam como velcro, expulsando as moléculas de água. Ela é empacotada em feixes, chamados microfibrilas, com 36 moléculas de celulose, que formam uma espécie de rede em torno da célula e funcionam como as hastes de ferro numa estrutura de concreto. Essa estrutura é ‘encapada’, como se fosse um fio elétrico, por outro açúcar, a hemicelulose, também composta por moléculas de glicose, mas que se combinam em ângulos diferentes da celulose, fazendo esse composto um pouco menos avesso às moléculas de água. São dois tipos de hemicelulose. A mais interna e mais próxima das microfibrilas tem ligações mais fortes e é mais hidrófoba. Uma dessas hemiceluloses tem ramificações que contêm pentoses, um açúcar. Leveduras detestam pentoses e é isso que faz dessa hemicelulose uma excelente proteção contra fungos.” Para completar essa estrutura, hemiceluloses se ligam duas a duas por meio de um ácido, formando a lignina, composto que trava completamente o sistema, produzindo uma rede de tubos de células mortas e tornando todo o sistema completamente hidrófobo.

O que se faz hoje para quebrar a molécula de celulose, diz Buckeridge, é, grosso modo, “cozinhar” a fibra, ou seja, o bagaço da cana, fazendo com que amoleça com uma explosão a vapor, permitindo que água e enzimas específicas façam a hidrólise. Os pesquisadores estão em busca de processos e enzimas que quebrem hemicelulose e celulose em açúcares fermentáveis e, portanto, capazes de produzir etanol. Buckeridge quer descobrir os pontos fracos desses açúcares, os pontos fracos da parede celular, para atacá-los com enzimas. “Meu objetivo é implodir essas paredes de forma controlada, da mesma forma que se faz com edifícios. Minha pesquisa é para descobrir em quais pontos devemos colocar as ‘bananas de dinamite’, no caso, as enzimas.”

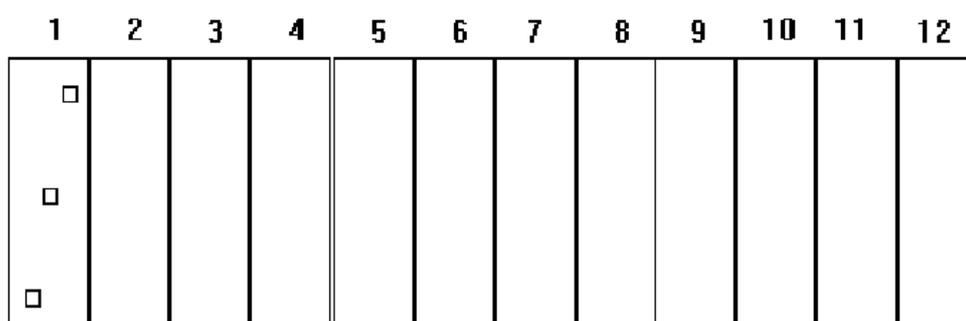
Essas “bananas de dinamite” existem na natureza. Falta identificá-las e descobrir como funcionam. A questão está em selecionar entre mais de 1.500 fungos quais produzem de forma eficiente os açúcares que os cientistas querem. Uma proposta é elaborar uma espécie de ranking dessas enzimas, de acordo com sua eficiência. “Se um desses fungos ou bactérias funcionar bem, podemos fazer um genoma completo”, diz Buckeridge. Já existem no mercado “coquetéis” de enzimas capazes de produzir etanol a partir de celulose em laboratório, mas o custo em larga escala ainda é proibitivo. Além disso, falta saber quais coquetéis funcionam em quais variedades de cana.

Buckeridge não tem dúvidas de que, no futuro, a biotecnologia vai transformar a cana não apenas numa fábrica de energia, mas numa verdadeira biofábrica, capaz de produzir de forma renovável substitutos para praticamente todos os derivados do refino do petróleo. “Já

estamos vendo isso acontecer hoje, com polímeros e proteínas derivadas da cana dando origem a princípios ativos para produção de medicamentos para controle do diabetes, matéria-prima para cosméticos e papel e plástico biodegradável. Não é difícil imaginar um futuro em que tenhamos biorrefinarias capazes de produzir solventes, tintas, fertilizantes, inseticidas e todo tipo de biomateriais a partir de variedades de cana-de-açúcar geneticamente projetadas para esse fim”.

✓ **Anexo 2**

- Croqui da área experimental.



Números ímpares referem-se às faixas do tratamento Cana Queimada

Números pares referem-se às faixas do tratamento Cana Crua

- - Amostragens

Representação do experimento.

Fonte: CEDDIA (1996)

✓ **Anexo 3**

- Teores de cálcio e magnésio trocáveis em função do tratamento e da profundidade.

Autor	Prof cm	Ca				Mg			
		cmol _c dm ⁻³							
		C	Q	CQ	QC	C	Q	CQ	QC
Mendoza 1996	0-10	1,35	1,18	-	-	1,13	0,73	-	-
	10-20	0,90	0,80	-	-	0,77	0,62	-	-
	20-30	0,85	0,72	-	-	0,45	0,43	-	-
et al.** 2000	30-40	0,88	0,68	-	-	0,47	0,43	-	-
	40-60	1,05	0,63	-	-	0,53	0,52	-	-
Silva 2000	0-5	1,45	1,23	1,13	1,25	1,15	0,55	0,63	1,17
	5-10	1,32	1,35	1,22	0,98	0,92	1,08	1,10	0,75
	10-20	1,07	0,87	1,00	1,07	0,77	1,38	1,35	0,82
	20-30	1,03	0,97	0,90	1,13	1,08	0,97	1,15	0,92
	30-40	1,08	0,95	1,35	1,17	1,10	0,83	1,30	0,80

* C- Cana crua Q- Cana queimada CQ- Cana crua-queimada QC- Cana queimada-crua

** Foram consideradas somente as variáveis contextualizadas no artigo deste autor.

✓ Anexo 4

- Histórico parcial de colheitas, adubação de plantio e em cobertura (após a colheita das socas).

Atividades agrícolas durante o ciclo da cultura.

Data Colheita	Data Adubação	Adubos e Corretivos	Quantidades (kg ha⁻¹)
-	28/05/89	Calcário dolomítico	500
		Superfosfato triplo + Sulfato de cobre	270
		Cloreto de potássio	138
17/09/90 (cana planta)	10/10/90	25-00-20	250
09/09/91 (cana soca)	19/09/91	25-00-20	270
03/09/92 (segunda soca)	06/10/92	25-00-20	350
13/09/93 (terceira soca)	29/10/93	25-00-20	400
15/10/94 (quarta soca)	20/11/94	25-00-30	500
03/10/95 (quinta soca)	03/12/95	25-00-30 Superfosfato simples	500 350

Fonte: MENDOZA (1996)

✓ Anexo 5

- Características da variedade SP79-1011.

Caracterização botânica e agroindustrial da variedade SP79-1011.

VARIEDADE	BOTÂNICA	AGROINDUSTRIAL
SP19-1011 (NA76-79 X Co775)	Variedade com hábito de crescimento ereto, capitel médio com quantidade de folhas pequena, comprimento e largura média de cor verde-claro, o porte reto com margens serrilhadas. Agressivas, a ponta tem afinamento longo, o colar é de forma triangular com margem inferior horizontal de cor verde arroxeada; a lígula é deltóide pouco inclinada dos dois lados com poucos cortes, à aurícula é deltóide, bainha de comprimento longo, com pouca cera, de cor verde. O colmo é de forma cilíndrica, com coloração roxo-esverdeada quando exposto, e amarelo-arroxeada sob palha. O comprimento dos entrenós é médio e diâmetro do colmo também, apresentando-se em ziguezague, com rachaduras muito raras.	Variedade que tem produção agrícola e teor de sacarose alto, maturação precoce, Período Útil de Industrialização (PUI) longo, teor de fibra e florescimento médios, boa brotação de socas, perfilhamento bom, baixa exigência quanto aos tipos de solos, e é resistente à ferrugem. Seu plantio é recomendado para chãs, encostas, mecanizáveis ou não, do Litoral Norte, Mata Norte e Mata Sul; bem como nos tabuleiros do Litoral Norte e Mata Norte. Produtividade esperada > 70t ha ⁻¹ .

Fonte: ROCHA (2007)

✓ **Anexo 6**

- Produtividade dos sistemas no período de 1990-1995

Produção dos sistemas no período de 1990-1995: Peso de colmos, folhas e peso total da cana-planta e socas sucessivas, correspondentes a cada tratamento.

t ha ⁻¹ *	1990		1991		1992		1993		1994		1995	
	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C	Q	C
Colmos	146,23	138,00	96,00	91,22	66,65	73,13	63,66	51,61	47,55	45,96	65,65	71,89
F + P	17,85	17,16	16,06	14,91	15,23	15,32	17,95	13,60	13,29	12,56	27,08	26,61
Total	164,08	155,16	112,06	106,13	81,88	88,45	81,61	65,21	60,84	58,52	92,72	98,50

* Média de 6 repetições. F + P → Folhas e Pontas Q - Cana queimada C- Cana crua

Fonte: CEDDIA (1996) e MENDOZA (1996)