

THICIANO LEÃO MIRANDA

**RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO
SOLO APÓS OPERAÇÕES DE COLHEITA E APLICAÇÃO DE
VINHAÇA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

RECIFE

Maio de 2009

THICIANO LEÃO MIRANDA

**RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO
SOLO APÓS OPERAÇÕES DE COLHEITA E APLICAÇÃO DE
VINHAÇA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

Prof.^a Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa – Orientadora

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim – Co-Orientador

Prof. Dr. Enio Farias de Fersaça e Silva – Co-Orientador

RECIFE

Mai de 2009

**RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO
SOLO APÓS OPERAÇÕES DE COLHEITA E APLICAÇÃO DE
VINHAÇA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

THICIANO LEÃO MIRANDA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em _____

ORIENTADORA:

Prof.^a. Dr.^a. Elvira Maria Régis Pedrosa

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Mario Monteiro Rolim (UFRPE)

Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira (UFERSA)

Dr.^a. Lílian Margarete Paes Guimarães (UFRPE)

RECIFE-PE

Mai de 2009

OFEREÇO

A Deus por sempre estar ao meu lado
nos momentos de alegrias e dificuldades.

DEDICO

Aos meus pais Miguel Miranda dos Santos (In Memória) e Maria
Consuelo Freire Leão Miranda, aos meus irmãos Tibério, Tatiana e
Tâmara, pelo companheirismo, solidariedade e incentivo na busca de
novos horizontes pelo exemplo de vida, amor, dedicação e
compreensão que me ensinaram a viver.

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso pai;

A profa. Dra. Elvira Maria Regis Pedrosa, pela orientação, conselho e compreensão;

Ao Prof. Enio Farias França e Silva e Mário Monteiro Rolim pela instrução pela ajuda durante todo o curso;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo ensino e dedicação para minha formação de Mestre em Engenharia Agrícola;

A Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo auxílio nos procedimentos relativos à pesquisa, aos assuntos burocráticos e institucionais;

À Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

Aos amigos Daniela Silva Salgues de Matos, Carmem Virginia Mendonça Aguiar da Silva, Jeane Emili de Medeiros, Maria de Fátima Correia Pontes, Natália Monique Ribeiro Barbosa, Thais Fernanda da Silva Vicente, Anailda Maria Pereira Lopes de Souza, Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão, Andréa Chaves, Lílian Margarete Paes Guimarães, Yoly Souza Ramos, Mercia Oliveira Cardoso, Andréa Cristina Baltar Barros pelo auxílio nos momentos difíceis;

Aos estagiários dos Laboratórios de Fitonematologia Virginia, Daniela, Jeane, Fátima, Natália, Thais, Anailda e Jefersom pelo trabalho e dedicação, dispostos sempre a ajudar durante as várias etapas da pesquisa;

Aos colegas do curso de Mestrado Yoly Souza Ramos, Leila de Paula e Jadson pela harmoniosa convivência, incentivo e colaboração durante o período de estudos;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Folha
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	8
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO I – Revisão Bibliográfica	15
Referências Bibliográficas.....	33
CAPÍTULO II – Alterações em Atributos Físicos e Biológicos do Solo	
Decorrentes das Operações de Colheita e Aplicação de Vinhaça em Solo	47
Cultivado com Cana-de-açúcar	
Resumo.....	48
Summary.....	49
Introdução.....	50
Material e Métodos.....	53
Resultados e Discussão.....	56
Literatura Citada.....	60
CAPÍTULO III – Flutuação Vertical da Nematofauna e Atributos Físicos do	
Solo em Função da Colheita e Aplicação de Vinhaça em Cana-de-açúcar	69
Resumo.....	70
Summary.....	71
Conteúdo.....	72
Literatura Citada.....	77

RESUMO

Avaliaram-se variações nas propriedades físicas e biológicas do solo resultantes das operações de colheita e aplicação de vinhaça em área cultivada intensamente com cana-de-açúcar na Mata Norte do Estado de Pernambuco. As avaliações fundamentaram-se na umidade e densidade do solo, resistência à penetração, densidade de partículas, porosidade, granulometria e caracterização da estrutura trófica da nematofauna. Realizaram-se avaliações antes e após o corte da cana-de-açúcar, e antes e após aplicação de vinhaça no solo. Coletando-se, horizontalmente, as amostras em malha de 60×50 m, em 42 pontos distintos. Enquanto que, verticalmente, em cada ponto, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. Os nematóides parasitos de plantas foram os mais abundantes em todas as coletas, particularmente *Meloidogyne* e *Criconemella*. Sendo que, *Meloidogyne* correlacionou-se positivamente com os bacteriófagos e onívoros, nas duas primeiras coletas, e com *Pratylenchus* e *Criconemella* nas três coletas restantes. Dentre as variáveis físicas, a umidade, porosidade e densidade do solo mostraram-se sensíveis ao tráfego de máquinas na colheita e aplicação de vinhaça. As operações de colheita afetaram diretamente as densidades de Mononchidae e Cephalobidae e, inversamente, *Xiphinema* e *Criconemella*. A adição de vinhaça reduziu as densidades de Dorilaymidae e *Meloidogyne* com efeito inverso sobre Rhabditidae e Cephalobidae. De maneira geral, as densidades de nematóides diminuíram com a profundidade do solo. As maiores densidades populacionais ocorreram nas camadas de 0 a 20 cm. Os taxa encontrados não mostraram variações significativas após as operações de colheita ou adição de vinhaça no solo. Ocorreram poucas variações físicas no solo com o aumento da

profundidade, exceto teor de areia e silte que apresentaram comportamento inverso. A adição de vinhaça promoveu reduções na densidade do solo e incrementos na umidade e porosidade.

Palavras-chaves: qualidade de solo, aproveitamento de resíduo, estrutura trófica, nematóide, agroecossistema, biodiversidade

ABSTRACT

It was evaluated changes on physical and biological soil properties due to harvest and stillage application in a sugarcane intensively cultivated area in North Mata of Pernambuco. Evaluations based on soil humidity and density, resistance to compactness, porosity, granulometry, particle density, and trophic structure of nematode community. Evaluations were carried out before and after both sugarcane cut and stillage application. Horizontally, samples were collected in 42 points within a 60×50 m square. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm deep. Plant parasitic nematodes were the most abundant in all sampling periods, particularly *Meloidogyne* and *Criconemella*. Within plant parasitic nematodes, *Meloidogyne* presented positive correlation with bacterial feeders and omnivorous before and after harvest, and with *Pratylenchus* and *Criconemella* in all periods. Within physical variables, soil humidity, porosity and density were influenced by harvest and stillage application. Harvest affected Mononchidae and Cephalobidae directly, but *Xiphinema* and *Criconemella* inversely. Stillage decreased Dorilaymidae and *Meloidogyne* density, in contrast to the increase on Rhabditidae and Cephalobidae. In general, nematode density decreased along with deep. The higher densities occur from 0 to 20 cm. The taxa did not vary significantly after harvest or stillage application in soil. There was little variation in physical properties due to deep, except in sand and silt content, which presented inverse response. Stillage addition decreased soil density in contrast to porosity and humidity increases.

Key Words: soil quality, residue use, trophic structure, nematode, agroecosystem, biodiversity

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial no complexo sucroalcooleiro, exercendo liderança em todos os segmentos: cana-de-açúcar, açúcar e álcool. Além do mais, o Brasil é considerado o país mais competitivo do mundo neste setor, porque detém os maiores níveis de produtividade da referida cultura, rendimento e menores custos de produção.

Hoje existem 329 usinas de açúcar e álcool em operação no Brasil e a expectativa é de que este número aumente para aproximadamente 400 unidades em 2012. A tendência de crescimento do preço mundial de petróleo, a necessidade de redução de emissão de poluentes na atmosfera e o grande volume de vendas de veículos bicom bustíveis impulsionam de forma crescente as demandas internas e externas de álcool, sendo necessário grande volume de investimentos.

A agroindústria sucroalcooleira exerce influência direta nas áreas adjacentes às usinas, no aspecto social e ambiental, pela geração de empregos diretos e indiretos, pela fixação do homem no campo e, pelo impacto ambiental causado. O impacto ambiental é alto devido às grandes extensões de áreas de monoculturas, pelas práticas agrícolas, uso de agrotóxicos, queimada da cana-de-açúcar e pela disposição indiscriminada da vinhaça.

A vinhaça é uma água residuária complexa, com características variáveis de parâmetros não controlados: a exemplo do tipo de solo onde é plantada a cana-de-açúcar, tipo de cultivo e manejo da lavoura, formas de colheita, pré-tratamento de tal cultura para a produção de álcool e açúcar, formas de produção do álcool e produtos utilizados como insumos para a fermentação da cana-de-açúcar. Além disso, as

concentrações residuais da vinhaça podem atingir valores acima de 100g/L de matéria orgânica em termos de DQO (200 vezes mais concentrada que o esgoto doméstico em média) e é produzida a temperaturas muito altas, em torno de 80 a 90° C. Constitui fonte de contaminação de águas superficiais, dos lençóis de água e do meio ambiente.

A riqueza da vinhaça em nutrientes varia de acordo com o tipo de mosto utilizado na destilaria, com destaque ao potássio (em torno de 5,0 g/L). Frequentemente é utilizada nas áreas canavieiras como meio para correção do solo, favorecendo o aumento da produtividade agrícola, que é mais pronunciado em solos arenosos, principalmente quando eles se caracterizam por apresentar baixo conteúdo de nutrientes.

A busca por maiores produtividades agrícola tem estimulado o aumento da utilização de máquinas e implementos e, conseqüentemente, o aumento da carga aplicada pelos mesmos, o que tem colaborado para a degradação física do solo, principalmente na subsuperfície. O aumento da intensidade de uso da mecanização agrícola na cultura sucroalcooleira, principalmente com as operações de preparo convencional (aração e gradagem) vem causando modificações físico-mecânicas ao solo, com conseqüente degradação da estrutura, principalmente na Mata Norte de Pernambuco que está inserida em tabuleiros costeiros.

As exigências de uma agricultura competitiva e a preocupação com a integridade do meio ambiente têm estimulado uma demanda crescente para identificação de parâmetros que avaliem, precocemente e de modo eficaz, as alterações ambientais, indicando o nível de qualidade do solo e da sustentabilidade da produção agrícola. Nesse aspecto, os nematóides possuem vários atributos que os tornam úteis como indicadores ecológicos. Entre os animais multicelulares, os nematóides são os mais abundantes, possuindo diversos hábitos alimentares e diferentes papéis ecológicos no

solo, ocupando praticamente todos os nichos ecológicos. Segundo Freckman (1988), por conseguinte, a estabilidade do ecossistema está correlacionada com a diversidade de nematóide que, usualmente, é mais alta em ecossistemas naturais que em agroecossistemas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. A CANA-DE-AÇÚCAR: CARACTERÍSTICAS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL

A cana-de-açúcar (híbridos *Saccharum* spp. L.) engloba 30 espécies pertencentes à família Poaceae, é classificada taxonomicamente como pertencendo à classe Liliopsida, sub-classe Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogoneae e sub-tribo Saccharinineae. A cultivar *Saccharum officinarum* surgiu a partir de *S. robustum* na Nova Guiné, que foi o centro de diversidade. Através de hibridizações naturais com *S. spontaneum* na Ásia, deu origem as cultivares *S. barberi* e *S. sinense*. As cultivares atuais são híbridas oriundas de cruzamento usando *S. officinarum* com elevado nível de ploidia. *Saccharum officinarum* constitui-se a espécie-base dos programas de melhoramento, para a qual se faz recorrência, com o objetivo de características agrônomicas desejáveis, tais como, colmo suculento e alto teor de sacarose, boa pureza de caldo e teor de fibra adequado para moagem. Outras espécies são cultivadas em vários locais no mundo: *S. spontaneum* L., *S. robustum* Jesw. e *S. sinense* Roxb. (GRIVET et al., 2004; CASTRO; KLUGER, 2001; MATSUOKA, GARCIA; ARIZONO, 1999; LU et al., 1994; BRANDES, 1958).

Os árabes foram os principais produtores de açúcar, trazido à Europa pelas cruzadas, na Idade Média. Os chineses, ao mesmo tempo em que os árabes, utilizaram métodos de extração do açúcar de cana. Em 1493, Cristóvão Colombo introduziu o açúcar nas ilhas do Caribe (SINDAÇÚCAR, 2008). A cana-de-açúcar é destaque no cenário agrícola brasileiro, sendo cultivada em vários tipos de ambientes (associação de

clima e solo) (MALUE et al., 2001). Seu cultivo começou no Brasil em 1522 na cidade de São Vicente e foi trazida da Ilha da Madeira por Martin Afonso de Souza. Posteriormente, em 1533, a cana-de-açúcar foi introduzida em Pernambuco por Duarte Coelho Pereira (BASTOS, 1987). O primeiro engenho regular de açúcar levantado neste Estado foi o Engenho Nossa Senhora da Ajuda, de Jerônimo de Albuquerque, nos arredores de Olinda. A primeira usina foi inaugurada em 24 de janeiro de 1887, equipada com maquinismos da Casa Mariolle Pinguet, da França: a usina modelo da Colônia Orfanológica Isabel, com capacidade para produzir cinco toneladas de açúcar por dia (SINDAÇÚCAR, 2008).

A cana-de-açúcar tem grande importância econômica e social para o Brasil e em particular para o Estado de Pernambuco. Entretanto, o crescimento da importância da cultura no Brasil teve início a partir de 1970 com o incentivo do governo federal para as agroindústrias canavieiras na tentativa de solucionar a crise energética emergente, frente à potencialidade de tal cultura como fonte de energia renovável (BARELA, 2005). A safra 07/08 em Pernambuco apresentou os seguintes resultados - posição final em 31.05.2008: Moagem de canas: 19.822.187 toneladas, Produção de açúcar: 1.683.453 toneladas e Produção de etanol: 511.576 m³. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e cultiva aproximadamente 7,8 milhões de hectares (SINDAÇÚCAR, 2008).

Os contingentes de produção de cana-de-açúcar de Pernambuco vêm diminuindo, safra a safra devido, principalmente, às intempéries climáticas, degradações do solo, topografia irregular e ataque de fitopatógenos, impingindo a região penosos reflexos sócio-econômicos. Em Pernambuco, mais de 50 municípios têm a cana-de-açúcar como a principal renda da população. Nesse Estado, o setor sucroalcooleiro,

apesar das fortes dificuldades pertinentes a clima e solo e relativas à agricultura, e da ausência de contrapartida por parte do governo federal para promover uniformização de competitividade, está contribuindo com, no mínimo, 13% de todos os empregos gerados pelo setor no País e, conjuntamente com o restante do Nordeste, com aproximadamente 18% da produção nacional. Além da vantagem do ciclo de produção do Nordeste ocorrer em época complementar ao do Sul, possibilitando o fornecimento contínuo, ao país e ao Mundo dos produtos finais (SINDAÇÚCAR, 2008).

2. A VINHAÇA

A vinhaça é conhecida pelos nomes vinhoto, calda, tiborna, restilo, garapão, vinhote, caxixi e mosto, a vinhaça é o principal efluente das destilarias de álcool, resultando na proporção entre 10 a 15 litros por litro de álcool produzido. A composição varia em função da natureza da matéria prima e operação dos aparelhos de destilação (STUPIELLO, 1987; BUZOLIN, 1997; CORTEZ; MAGALHÃES; HAPP, 1992). De acordo com a Coopersucar (1993), a vinhaça é um resíduo de consistência líquida, como resíduo que se enquadra na definição de resíduo sólido, segundo os critérios da NBR 10.004 da ABNT (1987), pois lhe falta um tratamento convencional adequado, sendo este lançado diretamente no solo como fertilizante na lavoura canavieira.

O vinhoto bruto apresenta alto teor de nutrientes N, P e K, o que desperta interesse para aproveitamento como fertilizante no próprio canavial. Quando aplicado equadamente, cerca de 150 m³/ha, a vinhaça equivale a uma adubação de 61 kg/ha de Nitrogênio, 40kg/ha de Fósforo, 343 kg/ha de Potássio, 108 kg/ha de Cálcio e 80 kg/ha de Enxofre. O vinhoto apresenta características que devem ser alteradas antes de seu uso

na irrigação: temperatura elevada, alta concentração de material orgânico, alto teor de sólidos em suspensão e pH baixo (MEDEIROS et al., 2003).

As mudanças nas propriedades químicas do solo promovidas pela aplicação da vinhaça podem alterar alguns parâmetros físicos do solo influenciando na compactação dos mesmos. Já foram constatados os efeitos benéficos da vinhaça sobre as propriedades físicas e químicas dos solos, resultando em modificações no desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar (SILVA & CABEDA, 2005; KLEIN & LIBARDI, 2002; GUPTA et al., 1989).

A vinhaça é caracterizada por Almeida (1955) como fator de fertilização ou de correção dos solos, é um resíduo rico em matéria orgânica coloidal e em elementos minerais, contribuindo por elevar o pH dos solos, chegando mesmo a alcalinizá-lo; melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos; aumenta a microflora dos solos, proporcionando mais fácil nitrificação e conferindo-lhe maior índice de fertilidade; propicia à cana-de-açúcar condições mais favoráveis ao seu ciclo vegetativo, aumentando sua riqueza sacarina e a pureza do caldo, se cortada na ocasião propicia, embora retardando a maturação; modifica os padrões das terras, determinando o aparecimento de plantas daninhas características e padrões de solos férteis e produtivos. A vinhaça é um efluente com elevada carga orgânica e nutriente, oriunda da produção de álcool das usinas de cana-de-açúcar (LUZ, 2005).

A fertirrigação é um processo conjunto de irrigação e adubação, em que consiste a utilização da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo orgânico ou químico na lavoura. Quando usada como fertilizante a vinhaça age despoluindo o ambiente, uma vez que todo resíduo formado é devolvido à cultura. Seu uso poderá reduzir o custo de produção agrícola, substituindo, em parte, a adubação mineral. São

vários os benefícios oriundos do uso agrícola da vinhaça, tanto do ponto de vista agronômico e econômico, quanto social. Aumentando a produtividade, que ocorre com mais intensidade em solos mais pobres e em regiões mais secas, como também a economia de fertilizantes, são benefícios imediatos decorrentes do uso racional desse resíduo nas lavouras canavieiras (SILVA, 1981; VIEIRA, 1986; COELHO; PEIXOTO; 1986).

A aplicação no solo é realizada de diversas formas, por exemplo: por caminhões-tanque, por sulcos de infiltração, por aspersão (LEME, 1993) e, atualmente, por meio de pivôs centrais. A riqueza da vinhaça em nutrientes varia de acordo com o tipo de mosto utilizado na destilaria, sendo a quantidade alta de potássio uma das principais razões do uso como fertilizante. Assim, da aplicação de vinhaça resultam efeitos benéficos no aumento da produtividade agrícola, sendo mais pronunciado em solos arenosos, principalmente quando eles se caracterizam por apresentar baixo conteúdo de nutrientes (COELHO; AZEVEDO, 1986). Em locais onde são feitas aplicações de doses elevadas de potássio no solo, podendo induzir a falta de magnésio e o conseqüente aumento no teor de cinzas do caldo (prejudicando a cristalização do açúcar) reduzindo a pureza do caldo mostrando assim um efeito negativo da vinhaça sobre a maturação da cana-de-açúcar (SILVA et al., 1978).

Embora a adição de vinhaça ao solo provoque atraso da maturação, redução do teor de sacarose e acúmulo de amido e cinzas no caldo, Silva et al. (1978) recomendam seu emprego como fertilizante porque, além de repor ao solo nutrientes para a planta, a adição de vinhaça promove a melhoria da estrutura física, a elevação do pH do solo, o aumento: da produtividade agrícola, da população microbiana, no poder de retenção de água, da disponibilidade de alguns nutrientes e imobilização de outros. A

complementação da vinhaça com fósforo, potássio e nitrogênio é, muitas vezes, desnecessária. Neste caso, Silva et al. (1978) recomendaram que fosse verificada a dosagem adequada capaz de substituir a adubação mineral correspondente, a fim de satisfazer totalmente as necessidades da cultura e evitar um desequilíbrio de nutrientes.

Na fração mineral, integrando a composição química da vinhaça, o potássio é o elemento predominante. Os teores normalmente encontrados variam de acordo com o tipo de mosto que foi fermentado. Seu fornecimento favorece maior intensidade de síntese e acúmulo de sacarose. Segundo Tasso Júnior et al. (2007), a utilização dos resíduos, independentemente da combinação estudada, resulta em concentração de sacarose na planta, nos mesmos níveis daqueles obtidos com a fertilização mineral. Dentre os resíduos estudados, verificou-se que a associação lodo de esgoto + vinhaça proporcionou teores de açúcares redutores no caldo maiores do que os obtidos com a utilização isolada dos resíduos. O aumento da dose resulta em maiores teores de açúcares redutores, sendo indicativo da permanência da cana por mais tempo em estágio vegetativo. Quando se consideram os diferentes tipos de resíduos, os maiores valores de Brix foram encontrados nas parcelas com aplicação de vinhaça. Quanto aos resíduos aplicados, às maiores percentagens de fibra são encontradas nas canas fertilizadas com vinhaça, seja ela acrescida de lodo de esgoto, seja de uréia. A vinhaça apresentou maiores valores de pol caldo (%) comparado com a aplicação de lodo de esgoto + vinhaça. As produtividades de colmo e de açúcar para cana-planta são mantidas quando o N e o K são fornecidos pelo lodo de esgoto e vinhaça, respectivamente.

Analisando parâmetros como: número de perfilhos, peso de colmos, produtividade e quantidade de açúcar produzido por toneladas, os resultados foram significativamente maiores quando se aplica vinhaça à palhada em relação ao tratamento testemunha.

Obtendo-se um acréscimo de 37,1% em produtividade e 36,7% em açúcar. Os valores de produtividade média e número de perfilhos por metro obtido para todos os tratamentos apresentam-se inferiores aos encontrados na safra anterior que foram de 126 t/ha e 10,2 respectivamente. Nos tratamentos onde se aplicou a vinhaça, observou-se um aumento expressivo no teor de potássio. A possível explicação para tal efeito está na própria composição da vinhaça 3,0 g/kg de K₂O total, e no fato desta se encontrar na forma líquida, facilitando o contato direto com o solo (CALDEIRA; PACCOLA, 2008).

Pesquisando os efeitos da vinhaça sobre o crescimento do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.), cultivado em condições de laboratório, Sengik et al. (1996) aplicaram doses equivalentes a 0, 50, 100, 200 e 400 m³.ha⁻¹, em dois tipos diferentes de solo, e concluíram que a vinhaça provocou acréscimos de área foliar e de produção de matéria seca das raízes e da parte aérea, sendo os valores máximos obtidos com a dose aplicada de 100 m³.ha⁻¹. Tais autores alertaram para o fato de que, em solos arenosos, aplicações excessivas de vinhaça podem promover salinização e desbalanceamento catiônico, com redução na produção vegetal.

A profundidade explorada pelo sistema radicular da cana-de-açúcar em alguns países atinge 160 cm de profundidade. Enquanto que no Brasil a profundidade média verificada é de 60 cm, sendo que, a menor profundidade de enraizamento é devido à baixa fertilidade do solo, principalmente em subsuperfície. Foi constatado que o aumento da produtividade está relacionado ao aumento do volume de exploração radicular desta cultura, e também em profundidade, observados nos latossolos de textura média. Neste caso, a localização das raízes se dá nas camadas superficiais, concentrando-se a maior parte na segunda camada do solo, sendo que na faixa de 50 a 100 cm de profundidade, são encontrados 29% do sistema radicular da planta, como

relatam a maioria dos trabalhos na literatura (GLÓRIA; 2003; MORELLI et al., 1987; 1992). Uma proposta apresentada pelos autores está baseada em determinadas premissas e procura garantir uma adequada resposta da cultura da cana-de-açúcar e ao mesmo tempo preservar a condição ambiental. Essas premissas a serem consideradas é o fato de que a vinhaça deve ser vista como recuperadora da fertilidade do solo, inclusive em profundidade.

3. A COMPACTAÇÃO DO SOLO NA AGRICULTURA

O incremento da produtividade agrícola é condicionado pela interação entre vários fatores como tipo de clima, cultura e solo. O solo condiciona, por meio das propriedades físicas, o crescimento das raízes das plantas e, decorrente disso, a produtividade das culturas. Estima-se que cerca de 68 milhões de hectares de terras agrícolas estão perdendo a qualidade física decorrente dos processos de compactação a que estão sendo expostas. Assim, a compactação destaca-se como um dos principais entraves na obtenção de elevadas produtividades. A mecanização trouxe facilidades ao homem, possibilitando um trabalho mais rápido e eficiente. Nas últimas décadas verificou-se, em todo o mundo, aumento da utilização de máquinas agrícolas, assim como da carga aplicada pelas mesmas, o que tem colaborado para a degradação física, principalmente na subsuperfície do solo. Emfim, a mecanização vem trazendo grandes problemas causando a compactação do solo (HORN et al., 2000).

O termo compactação refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada no solo, sejam por máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais. A

compactação do solo sempre esteve presente, desde o tempo onde a agricultura era totalmente realizada por meio do revolvimento do solo até os dias de hoje, visando menor revolvimento possível do solo. A diferença da compactação causada pelo revolvimento do solo e pelos manejos mais conservacionistas está na intensidade e profundidade da compactação. Com o revolvimento do solo a compactação superficial é rompida, mas o problema é transferido para profundidades maiores, causando a compactação subsuperficial, que é mais difícil de remediar. Nos manejos mais conservacionistas, como o plantio direto, a compactação do solo é mais superficial e esse problema se agrava pelo não revolvimento do solo, máquinas muito pesadas, solos mais argilosos e tráfego em solos mais úmidos.

Os efeitos da compactação sobre a estrutura física do solo acarretam, na maioria das vezes, redução da produtividade das culturas. Sob condições onde a compactação anual é intensa e os processos naturais de descompactação, como ciclos de umedecimento e secamento são insignificantes, há um grande risco de que os efeitos da compactação sejam acumulados durante anos (HEINONEN, 1986). Isto se traduz em efeitos detrimenais no solo, reduzindo o crescimento radicular devido à alta resistência à penetração das raízes. A infiltração de água no solo é reduzida e a absorção de nutrientes pelas plantas através das raízes é afetada. Ademais, é comum a prática de aumentar o suprimento de nutrientes e água (irrigação), e o consumo de combustível, para compensar os efeitos adversos da compactação do solo sobre a produtividade das culturas, o que resulta num aumento do custo de produção, além de levar ao rebaixamento dos níveis do lençol freático e poluir o meio ambiente (HÅKANSSON; VOORHEES, 1998; VAN DEN AKKER et al., 2003).

A compactação no perfil do solo se dá de forma diferenciada, onde a incidência de compactação no horizonte superficial do solo é determinada pela pressão de contato entre o solo e as rodas, enquanto que em subsuperfície a carga do eixo torna-se o fator mais importante (HÅKANSSON; VOORHEES, 1998). Além disso, a compactação depende de outros fatores destacando-se a textura do solo (LARSON; GUPTA; USECHE, 1980; IMHOFF; DA SILVA; FALLOW, 2004), o conteúdo de carbono orgânico (STONE; EKWUE, 1995), o teor de água do solo durante as operações de campo (HORN et al., 1995) e a frequência e intensidade com que a carga é aplicada no solo pelas máquinas e implementos (HORN et al., 1995; CHAMEN et al., 2003). Desta forma o estudo da compactação do solo torna-se abrangente e complexo em todo cenário agrícola.

A agricultura utiliza diversas formas de preparo do solo de acordo com a região. Neste sentido, o Brasil se destaca na grande área agrícola sob sistema de plantio direto, no qual em 2003/2004 este sistema ocupava aproximadamente 23 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2006). Entretanto, o tráfego repetido de máquinas e a ausência de revolvimento do solo têm acarretado o adensamento do solo, formando camadas compactadas. Isto tem sido verificado em diferentes solos e condições climáticas (TEBRÜGGE; DÜRING, 1999; OLIVER et al., 2002; FABRIZZI et al., 2005).

A análise das modificações na estrutura do solo decorrentes da compactação pode ser feita por propriedades físicas do solo que traduzem as modificações na distribuição do tamanho de poros. Essas modificações resultam no rearranjo das partículas e/ou agregados em função da pressão aplicada ao solo (SOANE et al., 1981).

As propriedades físicas do solo mais frequentemente utilizadas nestes estudos são: densidade e porosidade do solo, resistência do solo à penetração de raízes,

condutividade hidráulica, a permeabilidade do solo ao ar, entre outros (SHAFER-LANDEFELD et al., 2004; YAVUSCAN; MATTHIES; AUERNHAMMER, 2005; SWEENEY; KIRKHAM; SISSON, 2006). Além das propriedades físicas do solo citadas, os índices ou parâmetros de qualidade física do solo contribuem para a análise estrutural favorecendo o crescimento e desenvolvimento de raízes de plantas.

A impedância mecânica pode ser considerada um dos fatores mais importantes para determinar o grau de dificuldade que o solo oferece ao desenvolvimento das raízes de uma determinada cultura. Podendo ser expressa pela relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e sua área basal, comumente denominada I.C. (Índice de Cone) (BRADFORD, 1986).

Conforme a ASAE (1978), o penetrômetro de cone é recomendado como um aparelho para medir a resistência do solo à penetração, caracterizando um método padrão de uniformidade de dados. A resistência do solo à penetração não é um parâmetro independente, sendo resultado de combinações de ruptura (cisalhamento, atrito, compressão, etc.) que ocorrem nas vizinhanças da ponta de um penetrômetro que avança verticalmente ao longo do perfil. A resistência do solo à penetração é, tipicamente, um parâmetro composto (RÍPOLI et al., 1985).

Dependendo do objetivo de utilização, do solo a compactação pode ser uma solução, como exemplo na operação de semeadura em solos arenosos que retém menos umidade nos microporos em relação aos solos argilosos. Nos solos arenosos a compactação diminui as perdas de umidade presente porque reduz os macroporos (BALASTREIRE, 1990). No caso do tráfego de veículos sobre a superfície cultivada há um benefício pelo aumento da compactação por melhorar a capacidade de tração,

enquanto para penetração dos órgãos ativos dos implementos e das raízes das plantas ocorrem dificuldades devido ao aumento da resistência do solo (SOUZA et al., 1987).

Um dos problemas mais graves que a compactação pode causar é o escoamento superficial, com conseqüências imediatas que degradam a camada superficial do solo de forma física e química, assoreando e poluindo as reservas hídricas (KARLEN; STOTT, 1994).

4. NEMATÓIDES COMO BIOINDICADORES

Os nematóides constituem o mais abundante grupo de animais multicelulares em número de indivíduos no universo, estimado em um milhão de espécies (VIGLIERCHIO, 1991), ocupando praticamente todos os nichos ecológicos. Devido à maciça presença nos ecossistemas, qualquer mudança que ocorra em certo ambiente terá reflexos na nematofauna do local. Por conseguinte, a estabilidade do ecossistema está correlacionada com a diversidade de nematóide que, normalmente, é mais alta em ecossistemas naturais que em agroecossistemas (NORTON; NIBLACK, 1991). Com a remoção da vegetação nativa, as comunidades heterogêneas de plantas têm sido substituídas por culturas perenes ou anuais. Algumas espécies de nematóides certamente irão se adaptar aos novos sistemas de uso da terra, enquanto outras não tendem a desaparecer (MATTOS, 1999).

Caveness (1972), em estudos realizados na Nigéria, confirmou que a substituição da vegetação nativa de floresta por culturas resultou em reduções nas densidades de nematóides em até 85%. Entretanto, essas densidades voltaram a crescer nos cultivos de culturas anuais que foram implantados na área e tornaram a exibir

decréscimos nos períodos de pousio. O autor observou que as práticas agrícolas adotadas favoreceram algumas espécies de nematóides, como *Pratylenchus coffeae* (Zimmermann) Filipjev & Schuurmans Stekhoven, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitood e *Helicotylenchus pseudorobustus* (Steiner) Golden, em detrimento de outras dos gêneros *Helicotylenchus* Steiner, *Scutellonema* Andrassy, *Xiphinema* Cobb, *Paratylenchus* Micoletzky e *Criconemoides* Taylor.

No Brasil, os primeiros estudos da nematofauna foram realizados no Estado de São Paulo, em solos de matas, comparando-a com as observações de solos cultivados. Foi verificado que solos não perturbados continham maior diversidade de gêneros e espécies do que os solos agricultáveis. Além do mais, quando se estabelece um cultivo em um solo que estava sob floresta, algumas espécies tendem a desaparecer enquanto outras permanecem e, outras, ainda, são introduzidas na área por meio de máquinas e implementos que transportam solo aderente (ZAMITH; LORDELLO, 1957).

Muitos nematóides existentes em áreas cultivadas, provavelmente são descendentes daqueles de áreas nativas. Dessa forma, os estudos de comunidades de nematóides em áreas de vegetação nativa podem contribuir para que se compreenda melhor a presença e ecologia de nematóides fitoparasitos em áreas agricultáveis, assim como a sua provável importância em relação à vegetação nativa (SCHIMITT; NORTON, 1972).

Os nematóides fitoparasitos têm sido responsabilizados por uma significativa parcela de danos e perdas em diversas culturas no mundo, provocadas pela destruição do sistema radicular (WHITEHEAD, 1998). A absorção e a translocação de nutrientes nas raízes são prejudicadas, sendo assim, a fisiologia e nutrição da planta hospedeira é alterada drasticamente. Esses parasitos também podem torná-la predisposta a fatores

externos como doenças e estresses ambientais, ou atuarem também como vetores de outros patógenos (GOMES; CAMPOS, 2007).

As perdas devidas ao parasitismo de nematóides na agricultura mundial estão estimadas em aproximadamente, US\$ 80 bilhões/ano (AGRIOS, 2005). Na agricultura americana, essas perdas são estimadas em US\$ 8 bilhões/ano, o que corresponde a 10% em relação à agricultura mundial (BARKER et al., 1994). Estima-se que os prejuízos causados às plantações de café e a outras culturas tropicais de grande importância econômica como as culturas anuais (soja, feijão), hortaliças e as fruteiras chegam a 100 milhões de dólares (ZAMBUDIO, 2007). No Brasil, a quantificação de perdas não é preciso devido principalmente às interações com danos provocados por pragas e outras doenças, condições climáticas, presença de plantas invasoras e inadequação de tratamentos culturais.

Devido às modificações impostas pelo uso do solo, e em particular pela agricultura, a fauna e os microrganismos, em diferentes graus de intensidade, são afetados pelos impactos provocados pelas práticas agrícolas (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996), podendo variar o número e a diversidade de organismos do solo. Essa sensibilidade dos organismos do solo frente às variações no meio ambiente permite servir como bioindicadores de qualidade do meio.

Bloemers et al. (1997) avaliaram o efeito de perturbações do solo (inclusive em relação à implantação de agricultura) em uma floresta na República de Camarões localizada na África. Constataram que, aparentemente, a riqueza de *taxa* de nematóides sofreu pouco efeito, exceto nas áreas mais perturbadas. Com relação aos fitonematóides de solos tropicais, uma vez que esse estudo fora desenvolvido considerando somente as condições temperadas, não somente a riqueza, mas também a composição das

comunidades de nematóides foi afetada pelas perturbações, com impactos semelhantes em todos os grupos tróficos.

Coyne et al. (1999) realizaram observações sobre a dinâmica de populações de fitonematóides em solos sob florestas e em culturas de arroz estabelecidas na área, após a derrubada de vegetação nativa na Costa do Marfim, África. As clareiras abertas na floresta, por si só, tiveram pouco efeito imediato na diversidade de nematóides. Entretanto, com a introdução da cultura de arroz (*Oryza sativa*), as comunidades de nematóides sofreram rápidas alterações, acarretando em diminuição na diversidade e dinâmica de algumas poucas espécies.

As determinações quantitativas dos diferentes grupos tróficos e taxonômicos nos diferentes sistemas possibilitarão o conhecimento dos índices que serão mais adequados para indicar as alterações ocorridas na rede alimentar em virtude das práticas agrícolas, possibilitando a adoção de práticas que contribuam para se minimizar o impacto do uso da terra sobre a qualidade do solo. Desta forma, a busca de indicadores biológicos de alterações ocorridas nos diversos ambientes tem sido tratada com muito interesse na busca de entendimento dos processos envolvidos na dinâmica da rede alimentar do solo. Nesse sentido, os nematóides se destacam em virtude da rapidez com que podem evidenciar a ocorrência de distúrbios ambientais que afetam o solo, mediante alterações na estrutura da comunidade, a qual está representada em todos os níveis tróficos da rede alimentar (MATTOS, 1999).

Os nematóides parasitos de planta podem ser encontrados no solo ou no interior das raízes das plantas parasitadas. Dependendo da espécie de nematóide e cultura envolvida na associação, de fatores ambientais como clima e tipo de solo, região geográfica onde está localizada a área infestada, entre outros, as perdas agrícolas podem

apresentar grande variação. Por exemplo, as perdas na produção da cana-de-açúcar variam de suaves até a destruição total da cultura. (BIRCHFIELD, 1984).

A morfologia da região anterior quanto à da cavidade bucal do nematóide está relacionada diretamente com o hábito alimentar. Os fitoparasitos apresentam um estilete típico. Contudo, nem todos os nematóides que possuem estilete são fitoparasitos. Existem nematóides que possuem estilete que são micófagos; outros são predadores ou onívoros. Nesse caso, a presença do estilete vem a ser uma condição necessária, mas não suficiente para o fitoparasitismo. Os nematóides bacteriófagos mais comuns no solo apresentam cavidade bucal cilíndrica, estreita. Aqueles com cavidade bucal ampla, globosa, armada com dentes, denticulos e/ou placas cortantes são predadores de pequenos animais do solo, incluindo outros nematóides (GOULART, 2002).

A forma mais simples de alimentação entre os nematóides é encontrada nos bacteriófagos, os quais ingerem células bacterianas vivas através da cavidade bucal, geralmente cilíndrica e estreita. São nematóides comumente encontrados em matéria orgânica em decomposição. Nematóides predadores (às vezes chamados de “carnívoros”) se alimentam principalmente de pequenos animais do solo (no caso os invertebrados), como os protozoários e anelídeos ou mesmo outros nematóides (WALLWORK, 1970).

Para a respiração do solo a contribuição dos nematóides é relativamente pequena, apesar de serem numerosos na maioria dos ecossistemas. Assim, para o fluxo de energia, consumidores como os nematóides, nas cadeias alimentares, são relativamente pouco importantes, mas, por outro lado, realizam um papel fundamental como reguladores de taxas ou de velocidades das transformações, como da decomposição da matéria orgânica (WHITFORD et al., 1982).

A atividade de fungos e bactérias é afetada por nematóides micófagos e bacteriófagos, conseqüentemente, a decomposição da matéria orgânica realizada por esses organismos também é afetada. Nematóides microbiófagos, em várias condições ambientais, contribuem direta e indiretamente para o processo de decomposição da matéria orgânica, fazendo com que a taxa de mineralização do carbono (respiração) e outros nutrientes se eleve (ANDERSON et al., 1981; DE RUITER et al., 1993; BARDGETT; CHAN, 1999).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. Plant diseases caused by nematodes. In: GEORGE, N. AGRIOS, F.N. (Eds.). **Plant Pathology**. 4th ed. San Diego: Academic Press, 2005. p.565-597.

ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, v. 46, n. 2, p. 72-77, 1955.

ANDERSON, R. R. et al. Effect of the namatodes *Acrobeloides lheritieri* on substrate utilization and nitrogen and phosphorus minarelization in soli. **Ecology**, Colorado, v. 62, n. 3, p. 549-555, 1981.

ASAE. Soil penetrometer. **Agricultural Engineers yearbook**, 1978. p.296-297.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos: classificação**; NBR 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 63 p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307 p.

BARDGETT, R. D.; CHAN, K. F. Experimental evidence that soil fauna anchance nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montance grassland ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, Manchester, v. 31, n.7, p. 1007-1014, 1999.

BARKER, K.R. et al. Plant and soil nematodes: societal impact and focus for the future.

Journal of Nematology, Lakeland, v.26, p.127-137, 1994.

BARELA, J. F. **Seletividade de herbicidas para cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) afetada pela interação com nematicidas aplicadas no plantio**. 2005. 82p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BASTOS, E. **Cana-de-açúcar, o verde mar de energia**. São Paulo: Ed. Ícone, 1987. 130p.

BIRCHFIELD, W. Nematode parasites of sugarcane. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Plant and insect nematodes**. New York: Marcel Dekker, 1984. p. 571-588.

BLOEMERS, G. F.; et al. The effects of forest disturbance on diversity of tropical soil nematodes. **Journal Oecologia**, Aberdeen, v. 111, n. 4, p. 575-582, 1997.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil Analysis Physical, Chemical and Mineralogical Methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. no pag

BRANDES, E. W. Origin, classification and characteristics. In: ARTSCHWAGER, E.; BRANDES, E.W. (Eds.). **Agriculture handbook: sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)**. [s.l.], 1958, p. 1-35.

BUZOLIN, P. R. S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar.**

Jaboticabal, 1997. 98 p. (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo. “Júlio de Mesquita Filho”.

CALDEIRA, D. S. A.; & PACCOLA, A. A. Influência do manejo da palhada na fertilidade de um solo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 23, n.1, 2008, p.18-31.

CASTRO, P. R. C.; KLUGER, R. A. (Ed.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendenheiro e oliveira.** Cosmópolis: Stoller do Brasil. 2001. 138 p.

CAVENESS, F. E. Changes in plant parasitic nematode populations on newly cleared land. **Nematropica**, Florida, v. 2, n. 1, p. 1-2, 1972.

CHAMEN, T. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 161-174, 2003.

COELHO, M. B.; AZEVEDO, H. J. Utilização da vinhaça na irrigação da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.4, n. 5, p. 32-49, maio/junho 1986.

COELHO, M. B. & PEIXOTO, M. J. C. Considerações econômicas sobre aplicação da

vinhaça por aspersão em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2, Rio de Janeiro, 1986.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos sólidos da agroindústria sucro-alcooleira**. Piracicaba, 1993. 60 p. (Relatório Técnico RT-561-92/93).

CORTEZ, L. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista brasileira de Energia**, v.2, n.2, p. 111-146, 1992.

COYNE, D. L. et al. Observations on the community dynamics of plant parasitic nematodes of rice in Côte d'Ivoire. **Nematology**, Leiden, v. 1, n. 4, p. 433-441, 1999.

CRESSIE, N. Fitting variogram models using weighted least-squares. **Journal of the International Association for Mathematical Geology**, New York, v.17, n.5, p.563-586, 1985.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: Wiley, 1993. 900p.

DE RUITER, P. C. et al. Simulation of nitrogen mineralization in the below-ground food webs of two winter wheat fields. **Journal of Applied Ecology**, California, v. 30, n.1, p. 95-106, 1993.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.175-182, 1996.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Model-based geostatistics. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14., 2000, Caxambú. **Resumos...** Caxambú: Associação Brasileira de Estatística, 2000, p.192.

FABRIZZI, K.P. et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p. 57-69, 2005.

FEDERACÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (FEBRAPDP). Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/historico.htm>>. Acesso em: 11 jan. 2008.

GLÓRIA, N. A. et al. **Proposta da dosagem de vinhaça a ser aplicada anualmente em solos agrícolas**. AGROSERV, Piracicaba São Paulo, 2003.

GOMES, C. B.; CAMPOS, A. D. **Doenças causadas por nematóides na cultura do pessegueiro:** sistema de produção. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pessego/PessegodeMesaRegiaoSerraGaucha/nemato.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2008.

GOULART, A. M. C. **Diversidade de Nematóides em áreas de vegetação nativa e cultivada em São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil**. 2002, 151 f. Tese (Doutorado

em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GRIFFITHS, B. S.; CAUL, S. Migration of bacterial-feeding nematodes, but not protozoa, to decomposing grass residues. **Biology and Fertility of Soils**, Colorado, v.5, n.3, p.201-207, 1993.

GRIVET, L.; DANIELS, C.; GLASZMANN, J.C.; D'HONT, A. A review of recent molecular genetics evidence for sugarcane evolution and domestication. **Ethnobotany Research and Applications**, [s.l.], v. 2, p. 9-17, 2004.

GUPTA, S. C.; SHARMA, P. P.; DEFRANCHI, S. A. Compaction effects on soil structure. **Advances in Agronomy**, 1989, 42, 311-338.

HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A (Eds.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 167-179.

HEINONEN, R. Alleviation of soil compaction by natural forces and cultural practices. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMININGS, R.W. JR. (Eds.). **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Balkema Publishers, 1986. p.324.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 23-36, 1995.

HORN, R.; VAN DEN AKKER, J. J. H.; ARVIDSSON, J. (Eds.). **Subsoil compaction: distribution, processes and consequences**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2000, 462 p.

IMHOFF, S.; DA SILVA, A.P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal** Madison, v. 68, p. 17-24, 2004.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. . **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p. 857-867, 2002.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 450-457, 1980.

LEME, E. J. A. Uso e tratamento de resíduos agroindustriais no solo. In: CÂMARA, G. M. S. OLIVEIRA, E. A. M. de (Ed). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 147-173.

LU, Y. H.; D'HONT, A.; WALKER, D.I.T.; RAO, P.S.; FELDMANN, P.; GLASZMANN, J.C. Relationships among ancestral species of sugarcane revealed with RFLP using single copy maize nuclear probes. **Euphytica**, Dordrecht, v. 49, p. 267-283, 1996.

LUZ, P. H. C. in Anais do 2º Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-açúcar. 53p, jun/2005. S.C. Gupta; P.P. Sharma; S.A. Defranchi, **Adv. Agron**, 1989, 42, 311-338.

MALUE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA, G. B. Produtividade Agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n.2, p. 295-301, 2001.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 205-251.

MATTOS, J. K. A. **Caracterização das comunidades de nematóides em oito sistemas de uso da terra nos cerrados do Brasil Central**. 1999, 113 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília.

MEDEIROS, S. C. L. de. **Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente**. III Fórum de Estudos Contábeis 2003.

MORELLI, S. L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.187-194, 1992.

MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; DEMATTÊ, J. L. I.; DALBEN, A. E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4.,1987, Olinda. **Anais...** São Paulo: editora, 1987. p. 86-93.

NORTON, D. C.; NIBALCK, T. L. Biology and acology of nematodes. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of Agricultural Nematology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 47-72.

OLIVER, R. et al. Medium term impact of no tillage on some physical properties of a Brazilian oxisoil of Cerrados (tropical humid savannah of central Brazil). In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE; CONFRONTING NEWREALITIES IN THE 21ST CENTURY, 2002, Bangkok. **Proceedings ...** Bangkok: Kasetsart University, 2002. p. 930-1 – 930-9.

OMETTO, A. R. (2000). **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

RÍPOLI, T. C.; MIALHE, L. G.; NAKAMURA, R. T. **Subsolagem e subsoladores**. Piracicaba: DER/ESALQ, Universidade de São Paulo, 1985. p. 01-32.

SCHÄFER-LANDEFELD, L. et al. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 75, p. 75-86, 2004.

SCHMITT, D. P.; NORTON, D. C. Relationships of plant parasitic nematodes to sites in native Iowa prairies. **Journal of Nematology**, Florida, v. 4, n. 3, p. 200-206, 1972.

SILVA, G. M. A. **Tratamento e utilização agroindustrial da vinhaça**, 2, Um novo enfoque. Brasil Açúcareiro, Rio de Janeiro, dez., 1981.

SILVA, G. M. A.; CASTRO, L. J. P. de; SANCHES. A. C. GUIMARÃES, E.; GURGEL, M. N. A. Efeitos da vinhaça como fertilizante em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, n. 7, p. 9-14, 1978.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p. 447-457, 2005.

SINDAÇÚCAR(<http://www.sindacucar.com.br/artigos/artigo25.html>, acessado em 03/11/2008).

SOANE, B. D. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review. II. Compaction under tyres and other running gear. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p. 373-400, 1981.

SOBRE os nematóides. Disponível em < <http://www.ciagri.usp.br/~sbn/nemata.htm>>
Acesso em: 08 jun. 2007.

SOUSA, F. L. C.; TREIN, C. R.; CANPANI, D. B. Determinação do perfil do solo mobilizado pela ação do subsolador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2., Jundiaí, 1987. **Anais**. Jundiaí: SBEA, 1987. P. 329-335.

STONE, R. J.; EKWUE, E. I. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by the incorporation of peat. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v. 60, p. 15- 24, 1995.

SUTUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, SB. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. São Paulo: Fundação Cargil. v. 2, cap. 7, p.761-804, 1987.

SWEENEY, D. W.; KIRKHAM, M. B.; SISSON, J. B. Crop and soil response to wheel-track compaction of a claypan soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p.637-643, 2006.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. E. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. DA. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.276-283, jan./abr. 2007.

TEBRÜGGE, F.; DÜRING, R.A. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 15-28, 1999.

UNGER, P. W. Common soil and water conservation practices. In: AGASSI, M. **Soil erosion, conservacion, and reahabilitation**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 230-265.

VAN DEN AKKER, J. J. H.; ARVIDSSON, J.; HORN, R. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 1-8, 2003.

VIEIRA, D. B. **Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça**. Álcool e Açúcar, São Paulo, mai/jun., 1986.

VIGLIERCHIO, D.R. (Ed.). **The World of Nematodes**: a fascinating component of the animal kingdom. California: University of California: Davis, CA, 1991. 266p.

WALLWORK, J. A. **Ecology of soil animals**. London: McGraw-Hill, 1970. 283 p.

WHITFORD, W. G. et al. The role of nematode in decomposition in desert ecosystems. In: FRECKMAN, D. W. (Ed.). **Nematodes in soil ecosystems**. Austin: University of Texas Press, 1982. p. 98-116.

WHITEHEAD, A.G. **Plant Nematode Control**. New York. C.A.B. International. 1998.

WILKIE, A. C.; RIEDESEL, K. J.; OWENS, J. M. Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 63-102, 2000.

XU, X.-M.; RIDOUT, M.S. Effects of quadrat size and shape, initial epidemic conditions, and spore dispersal gradient on spatial statistics of plant disease epidemics. **Phytopatology**, St. Paul, v. 90, n. 7, p. 738-750, 2000.

YAVUZCAN, H. G.; MATTHIES, D.; AUERNHAMMER, H. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, p. 200-215, 2005.

ZAMBUDIO, S. **Pesquisa desenvolve controle biológico para combater nematóides**.

Disponível

em:

<<http://www23.sede.embrapa.br:8080/aplic/bn.nsf/b1bbbc852ee1057183256800005ca0ab/15b0a2fe00870b9583256d39006895e4?OpenDocument>>. Acesso em: 08 jun. 2007.

ZAMITH, A. P. L.; LORDELLO, L. G. E. Algumas observações sobre nematóides em solo de mata e em solo cultivado. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 32, n.2, p. 183-188, 1957.

ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS E
BIOLÓGICOS DO SOLO DECORRENTES DAS
OPERAÇÕES DE COLHEITA E APLICAÇÃO DE
VINHAÇA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-
AÇÚCAR

CAPÍTULO 2

1 **Alterações em Atributos Físicos e Biológicos do Solo Decorrentes das Operações de**
2 **Colheita e Aplicação de Vinhaça em Solo Cultivado com Cana-de-açúcar**

3
4 Thiciano L. Miranda¹, Elvira M. R. Pedrosa^{1*}, Enio F. de F. e Silva¹, Mário M. Rolim¹

5
6 ¹Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP
7 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

8 *Bolsista de Produtividade CNPq

9
10 **Resumo**

11
12 Avaliaram-se variações nas propriedades físicas e biológicas do solo resultantes
13 das operações de colheita e aplicação de vinhaça em área cultivada com cana-de-açúcar
14 na Mata Norte de Pernambuco. As avaliações fundamentaram-se na umidade e
15 densidade do solo, resistência à penetração, densidade de partículas, porosidade,
16 granulometria e caracterização da estrutura trófica da nematofauna. As avaliações foram
17 efetuadas antes e após o corte da cana, e antes e após aplicação de vinhaça.
18 Horizontalmente as amostras foram coletadas em malha de 60×50 m, em 42 pontos.
19 Verticalmente, em cada ponto, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10,
20 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. Os nematóides parasitos de plantas foram os mais
21 abundantes em todas as coletas, particularmente *Meloidogyne* e *Criconemella*. Entre os
22 parasitos de plantas, *Meloidogyne* correlacionou-se positivamente com os bacteriófagos
23 e onívoros, nas duas primeiras coletas, e com *Pratylenchus* e *Criconemella* nas três
24 coletas. Dentre as variáveis físicas, a umidade, porosidade e densidade do solo

25 mostraram-se sensíveis ao tráfego de máquinas e aplicação de vinhaça. As operações de
26 colheita afetaram diretamente as densidades de Mononchidae e Cephalobidae e,
27 inversamente, *Xiphinema* e *Criconemella*. A adição de vinhaça reduziu as densidades de
28 Dorilaimidae e *Meloidogyne* com efeito inverso sobre Rhabditidae e Cephalobidae.

29

30 **Palavras-chaves:** compactação do solo, aproveitamento de resíduo, estrutura trófica,
31 nematóide

32

33 **Summary:** Miranda, T.L.; Pedrosa, E.M.R.; Silva, E.F.F.; Rolim, M.M. Changes in
34 physical and biological soil attributes as a result of harvest and stillage application in
35 sugarcane cultivated soil

36

37 It was evaluated changes on physical and biological soil properties due to harvest
38 and stillage application in a sugarcane intensively cultivated area in North Mata of
39 Pernambuco. Evaluations based on soil humidity and density, resistance to
40 compactness, porosity, granulometry, particle density, and trophic structure of nematode
41 community. Evaluations were carried out before and after both sugarcane cut and
42 stillage application. Horizontally, samples were collected in 42 points within a 60×50 m
43 square. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-
44 50 cm deep. Plant parasitic nematodes were the most abundant in all sampling periods,
45 particularly *Meloidogyne* and *Criconemella*. Within plant parasitic nematodes,
46 *Meloidogyne* presented positive correlation with bacterial feeders and omnivorous
47 before and after harvest, and with *Pratylenchus* and *Criconemella* in all periods. Within
48 physical variables, soil humidity, porosity and density were influenced by harvest and

49 stillage application. Harvest affected Mononchidae and Cephalobidae directly, but
50 *Xiphinema* and *Criconemella* inversely. Stillage decreased Dorilaimidae and
51 *Meloidogyne* density, in contrast to the increase on Rhabditidae and Cephalobidae.

52

53 **Key Words:** compacted soil, residue use, trophic structure, nematode

54

55 **Introdução**

56

57 O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e
58 considerado o país mais competitivo do mundo no setor sucroalcooleiro, porque detém
59 os maiores níveis de produtividade, rendimento e menores custos de produção (Pagel,
60 2008). Além do mais, a agroindústria sucroalcooleira exerce influências diretas nas
61 áreas adjacentes às usinas, tanto no aspecto social, pela geração de mais de 370 mil
62 empregos diretos e fixação do homem no campo, como no ambiental, pelas grandes
63 extensões de áreas de monoculturas, práticas agrícolas, uso de agrotóxicos, queimadas,
64 tráfego de máquinas e pela disposição indiscriminada da vinhaça (Ometto, 2000).

65 O tráfego de máquinas agrícolas é a principal causa de compactação dos solos
66 (Seixas, 2000), que se dá de forma diferenciada, onde a incidência de compactação no
67 horizonte superficial do solo é determinada pela pressão de contato entre o solo e as
68 rodas, enquanto que em subsuperfície a carga do eixo torna-se o fator mais importante
69 (Håkansson & Voorhees, 1998). Além disso, a compactação depende de outros fatores
70 destacando-se a textura do solo (Larson et al., 1980; Imhoff et al, 2004), o conteúdo de
71 carbono orgânico (Stone & Ekwue, 1995), o teor de água do solo durante as operações
72 de campo (Horn et al., 1995) e a frequência e intensidade com que a carga é aplicada no

73 solo pelas máquinas e implementos (Horn et al., 1995; Chamen et al., 2003). Dessa
74 forma, o processo de compactação do solo envolve aspectos relacionados com fatores
75 físicos, químicos e biológicos, promovendo aumento da densidade do solo e de
76 processos de erosão pela menor infiltração da água no solo (Prado et al., 2002).

77 Principal efluente das destilarias de álcool, a vinhaça é um resíduo de
78 consistência líquida, mas que se enquadra na definição de resíduo sólido, segundo os
79 critérios da NBR 10.004 da ABNT (1987), pois lhe falta um tratamento convencional
80 adequado, sendo este lançado diretamente no solo como fertilizante na lavoura
81 canavieira. Segundo Almeida (1955), a vinhaça é um resíduo rico em matéria orgânica
82 coloidal e em elementos minerais, contribuindo para elevar o pH dos solos, chegando
83 mesmo a alcalinizá-lo; melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos;
84 aumenta a microflora dos solos, proporcionando mais fácil nitrificação, conferindo
85 maior índice de fertilidade.

86 Embora vários estudos tenham sido conduzidos para avaliar os efeitos da
87 vinhaça nas características físicas e químicas do solo, são poucos ou inexistentes
88 estudos sobre os efeitos dessa prática na estrutura e função de processos ecológicos
89 vitais no solo. As conseqüências das mudanças nas comunidades bióticas do solo e
90 funcionamento do ecossistema precisam ser identificadas e avaliadas para que se
91 aumente a sustentabilidade, uma vez que em sistemas agrícolas sustentados pela
92 incorporação de resíduos, a disponibilidade de minerais é função das taxas de
93 decomposição e mineralização, conduzidas pelos microrganismos do solo e mediadas
94 por outros organismos presentes (Laakso et al., 2000).

95 As exigências de uma agricultura competitiva e a preocupação com a integridade
96 do meio ambiente têm estimulado uma demanda crescente para identificação de

97 parâmetros que avaliem, precocemente e de modo eficaz, as alterações ambientais,
98 indicando o nível de qualidade do solo e da sustentabilidade da produção agrícola. Há
99 indicações de que parâmetros biológicos normalmente detectam alterações provocadas
100 por diferentes manejos do solo em estágio anterior ao das mudanças nos parâmetros
101 físicos e químicos. Trabalhos que visam investigar o uso da biodiversidade em solos
102 para o desenvolvimento de indicadores biológicos de qualidade ambiental em
103 agroecossistemas, particularmente no Brasil, são fundamentais para identificar os
104 efeitos dos sistemas de manejo sobre a biodiversidade nos solos, bem como definir
105 estratégias de manejo que possam resultar em sistemas de produção mais sustentáveis.

106 Nesse contexto, os nematóides possuem vários atributos que os tornam úteis
107 como indicadores ecológicos (Freckman, 1988). Entre os animais multicelulares, os
108 nematóides são os mais abundantes, possuindo diversos hábitos alimentares e diferentes
109 papéis ecológicos no solo. Amplamente distribuídos na fauna do solo, apresentam
110 comunidades constituídas por diversas espécies, classificadas em cinco grupos
111 funcionais que estão presentes em posições estratégicas na cadeia alimentar no solo. Os
112 parasitos de planta que se nutrem de raízes ou parte aérea, os bacteriófagos e micófagos
113 que consomem bactéria e fungos e estão indiretamente envolvidos no processo de
114 decomposição e mineralização do nitrogênio (Yeates; Coleman, 1982; Ingham et al.,
115 1985), predadores que se alimentam de nematóides e outros invertebrados do solo e
116 onívoros que possuem mais de uma fonte de alimentação, incluindo bactérias, fungos,
117 algas, protozoários e rotíferos (Neher; Campbell, 1994). Os três primeiros grupos
118 funcionais são considerados mais importantes por constituírem a maioria da
119 comunidade de nematóides na maior parte dos ecossistemas (Freckman; Caswell, 1985).
120 Devido ao curto ciclo de vida, diferentes mecanismos reprodutivos e capacidade de

121 sobrevivência, vários pesquisadores (Samoiloff, 1987; Freckman, 1982; Bongers, 1990)
122 têm usado os nematóides como um bioindicador ecológico por refletir mudanças
123 ambientais na estrutura e composição da sua comunidade.

124 Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar possíveis
125 relações entre operações de colheita, aplicação de vinhaça e decorrentes efeitos nas
126 propriedades físicas e biológicas do solo em uma área cultivada intensamente com cana-
127 de-açúcar nas condições da Mata Norte de Pernambuco, utilizando a composição trófica
128 da nematofauna com indicador biológico.

129

130 **Material e Métodos**

131

132 O estudo foi realizado na bacia do rio Goiana, situado na microrregião da Mata
133 Setentrional do estado de Pernambuco, em solo com teores médios de 48, 21 e 931 g kg⁻¹
134 de argila, silte e areia, respectivamente, apresentando textura arenosa. O clima local foi
135 classificado de acordo com o sistema de Kopper (1948) tropical chuvoso tipo As' ou
136 "pseudotropical", que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas que se
137 concentram entre os meses de março a agosto com temperaturas médias anuais variando
138 em torno de 24°C, durante esse período (os menos quentes do ano), com amplitude
139 térmica anual bastante fraca (cerca de 3°C), com isoietas que variam de 1932,3 a 975,6
140 mm anuais. A área tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais de
141 20 anos, sempre com cana-de-açúcar.

142 As avaliações foram efetuadas em uma mesma área, em três períodos diferentes
143 de cultivo da cana-de-açúcar. A primeira avaliação ocorreu aos 30 dias antes do corte da
144 cana-de-açúcar. Posteriormente, foi realizada a segunda avaliação, 10 dias após o corte

145 da cana-de-açúcar (30 dias antes da aplicação de vinhaça). Finalmente, a terceira,
146 avaliada aos 50 dias após o corte da cana-de-açúcar (10 dias após aplicação da vinhaça
147 no solo). As análises físicas fundamentaram-se na determinação da resistência do solo à
148 penetração, umidade, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade e
149 granulometria. A caracterização da estrutura da nematofauna fundamentou-se na
150 abundância (densidade populacional) e dominância dos taxa encontrados.

151 Horizontalmente, as amostras foram coletadas em 42 pontos georeferenciados,
152 com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando malha de 60 × 50 m, constituída
153 de seis ruas e sete pontos em cada rua. Verticalmente, em cada ponto foi aberta uma
154 trincheira e coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40,
155 40-50 cm, totalizando 630 amostras de solo.

156 As amostras de solo foram obtidas com auxílio de um trado de amostras
157 indeformadas, com cilindros de aço inoxidável, com 50 mm de diâmetro e 26,5 mm de
158 altura e 50 cm³. Cada amostra foi acondicionada em recipiente plástico para o transporte
159 até o laboratório. Posteriormente, foram preparadas e pesadas para obtenção do
160 conteúdo de água (g) e depois levadas à estufa a 105 °C por 48 h para obtenção da
161 massa seca (g). A densidade do solo foi determinada conforme (Blake; Hartge, 1986). A
162 umidade gravimétrica foi determinada em cada amostra através da relação entre massa
163 de água e massa de solo seco de cada amostra.

164 A porosidade total do solo foi calculada considerando o volume de água
165 (densidade = 1Mg m⁻³) contida nas amostras quando saturadas, uma vez que este é o
166 mesmo volume que o volume de poros da amostra.

167 As diferentes classes texturais foram determinadas após dispersão da amostra em
168 solução de 1 N de NaOH em água e separação das diferentes classes granulométricas
169 pelo método de pipeta.

170 Para as análises nematológicas, após a coleta, as amostras foram acondicionadas
171 em sacos plásticos devidamente etiquetados e encaminhados ao laboratório de
172 Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Posteriormente, tais
173 amostras foram homogeneizadas e processadas para extração, a partir de 300 cm³ de
174 solo, utilizando-se o método da flotação centrífuga (Jenkins, 1964). As suspensões de
175 fitonematóides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6 °C), realizando-se a
176 identificação genérica e contagem dos espécimes em lâminas de Peters, sob microscópio
177 óptico, em duas repetições, e os resultados computados em número de espécimes por
178 300 cm³ de solo.

179 Os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos
180 tróficos (parasitos de plantas, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros), baseado
181 na morfologia do estômago e esôfago, segundo Yeates et al. (1993). Para os nematóides
182 parasitos de plantas foram efetuadas identificações ao nível de gênero segundo a chave
183 de Mai et al. (1996). A estrutura da nematofauna foi descrita pelos grupos tróficos e
184 pelas razões micófagos/bacteriófagos (M/B) e onívoros + predadores / bacteriófagos +
185 micófagos + parasitos de plantas (O+P)/(B+M+PP), segundo Gomes et al. (2003).

186 Para análise dos dados aplicou-se análise estatística descritiva (média, desvio
187 padrão, erro padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação) e análise
188 multivariada de medidas repetidas, utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de
189 probabilidade para comparação das médias. Visando avaliar a possível relação entre as
190 variáveis físicas do solo e população de nematóides pertencentes aos diferentes taxa

191 encontrados na malha em cada época de amostragem, foi determinado o grau de
192 correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação
193 de Pearson a 5% de probabilidade.

194

195 **Resultados e Discussão**

196

197 Os dados relativos à nematofauna associada à rizosfera da cana-de-açúcar nas três
198 épocas de coleta encontram-se descritos na Tabela 1. O total de nematóides presentes
199 em 300 cm³ de solo em cada época de avaliação variou de 44578 a 59397, havendo
200 maior abundância de nematóides parasitas de plantas nas três épocas de coleta. Sendo
201 52,82% de fitonemtaóides observados na primeira coleta, 62,38% na segunda e 57,35%
202 na terceira avaliação.

203 Na primeira coleta houve maior dominância de Onívoros, com 31,54% da
204 população trófica. Enquanto que na segunda e terceira coletas, a maior dominância foi
205 do nematóide parasito de planta *Criconemela*, com 29,63 e 34,27% respectivamente,
206 demonstrando que perturbações como o tráfego de máquinas e a aplicação de vinhaça
207 afetaram a microbiota do solo (Tabela 1).

208 De acordo com a Tabela 2, após o tráfego de máquinas e operações de colheita,
209 houve diminuição significativa nas densidades populacionais de Mononchidae e
210 Cephalobidae, e aumento significativo dos parasitos de planta *Xiphinema* e
211 *Criconemella*. Paralelamente, a umidade e densidade do solo diminuíram
212 significativamente, em contraste com o aumento da porosidade. Após a aplicação da
213 vinhaça, houve aumento significativo da densidade populacional de Rhabdititidae e
214 Cephalobidae, e redução de Dorilaymidae. A exceção de *Meloidogyne*, os parasitos de

215 planta não se mostraram sensíveis à aplicação de vinhaça, possivelmente devido à baixa
216 densidade populacional em que se encontravam no solo durante a aplicação do resíduo.
217 A aplicação de vinhaça promoveu aumento significativo na umidade e porosidade do
218 solo, com efeito inverso na densidade do solo (Tabela 2).

219 Os efeitos do componente físico do solo na dinâmica populacional da comunidade
220 de nematóides, e em particular dos parasitos de plantas já foram estudados por outros
221 pesquisadores, a exemplo da temperatura, umidade, textura e estrutura do solo (Noe,
222 1991; Huang e Pereira, 1994). Em clima tropical com relativamente baixa flutuação
223 sazonal na temperatura, a distribuição de chuvas influencia marcadamente a densidade
224 populacional. A densidade do solo é crítica para a mobilidade e atividade dos
225 nematóides, embora, em excesso, limite a sobrevivência do parasito devido às
226 limitações de oxigênio. Por outro lado, a resposta das comunidades de nematóides está
227 intrinsecamente relacionada à textura e outras variáveis físicas do solo. De maneira
228 geral, muitas espécies de nematóides mostram preferência por tipos específicos de solo.
229 Por exemplo, *Meloidogyne* spp. apresentam maior reprodução e maior severidade de
230 danos em solos arenosos. A textura do solo também pode afetar a extração de alguns
231 nematóides do solo e as estimativas populacionais.

232 Em relação às correlações significativas em cada época de estudo, entre os
233 parasitos de planta, verificou que *Meloidogyne* correlacionou-se positivamente com os
234 bacteriófagos e onívoros nas coletas um e dois e com os parasitos de plantas
235 *Pratylenchus* e *Criconemella* nas três coletas, *Xiphinema* na primeira e segunda coleta,
236 *Helicotylenchus* na segunda e terceira coleta e *Trichodorus* na primeira coleta (Tabela
237 3).

238 Antes do corte da cana, destacaram-se as correlações existentes entre
239 bacteriófagos e os nematóides parasitos de plantas, com exceção de *Rotylenchulus* e
240 *Paratrichodorus*, tendo ocorrido o mesmo com os onívoros (Tabela 3), o que pode
241 indicar que a ação dos parasitos de plantas favorece a mutiplicação de bactérias e,
242 consequentemente, os bacteriófagos. Após a colheita, *Criconemela* apresentou maior
243 número de correlações com os demais *taxa*, correlacionando-se com onívoros,
244 predadores, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* e *Xiphinema*. Após a aplicação
245 de vinhaça o número de correlações diminuiu. No entanto, *Pratylenchus* apresentou
246 correlações positivas com onívoros, *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Xiphinema*, e
247 *Criconemella*.

248 Em geral, os micófagos apresentaram baixo grau de correlação. Ao contrário, os
249 onívoros apresentaram maior dominância, principalmente antes do corte da cana. A
250 relação $(O+P)/(B+M+PP)$ apresentou baixos valores, característico de cultivo anual.

251 As correlações positivas significativas mais altas observadas antes do corte da
252 cana-de-açúcar ocorreram entre espécimes do gênero *Meloidogyne* e *Criconemella*
253 ($r=0,40$), bacteriófagos e onívoros ($r=0,36$). Após a colheita, as principais correlações
254 ocorreram entre bacteriófagos e *Pratylenchus* ($r=0,53$), onívoros e *Criconemella*
255 ($r=0,45$). Após a aplicação de vinhaça, destaca-se a correlação entre *Pratylenchus* e
256 *Criconemella* ($r=0,36$) (Tabela 3).

257 Em relação às características físicas do solo, antes do corte da cana os micófagos
258 correlacionaram-se positivamente com areia, mas negativamente com silte. Isso porque
259 os micófagos se desenvolvem melhor nos solos arenosos que nos siltosos. Já os
260 onívoros mostraram correlação negativa com areia e positiva com argila. Entre os
261 parasitas de plantas *Rotylenchulus* correlacionou-se negativamente com densidade de

262 partículas e porosidade. Isso deve ter ocorrido devido os nematóides darem preferência
263 a solos arenosos, que são menos porosos que os demais (Tabela 4).

264 Os dados obtidos mostraram que após a colheita da cana-de-açúcar, os
265 bacteriófagos e *Pratylenchus* correlacionaram-se negativamente com areia e
266 positivamente com silte e umidade, mostrando que tanto têm afinidade por umidade
267 como por solos que melhor a retém. Dos fitonematóides, *Criconemella* correlacionou-se
268 negativamente com areia, densidade do solo e de partículas, e positivamente com silte
269 (Tabela 4).

270 Após a aplicação de vinhaça os bacteriófagos correlacionaram-se negativamente
271 com areia e positivamente com silte e argila. Os micófagos correlacionaram-se
272 positivamente com densidade do solo e negativamente com porosidade. Entre os
273 parasitos de planta, *Paratrichodorus* correlacionou-se negativamente com densidade do
274 solo e positivamente com umidade; *Xiphinema* correlacionou-se positivamente com
275 densidade do solo e negativamente com porosidade e *Criconemella* positivamente com
276 areia e negativamente com silte.

277 Os resultados obtidos no presente estudo concordam com aqueles
278 encontrados por Aon e Colaneri (2001), que relataram coeficientes de variação
279 normalmente cerca de 50% para fosfatases ácida e alcalina, desidrogenase e b-
280 glucosidase (três vezes durante a amostragem em época de cultivo de soja em uma bacia
281 hidrográfica), e com aqueles relatados por Debosz et al. (1999), que encontraram mais
282 de 50% de variação temporal na biomassa de C microbiana e b-glucosidase,
283 cellobiohydrolase e atividades endocellulase baseadas em dezenove amostragens ao
284 longo de dois anos na Dinamarca. Esses resultados também concordam com os de

285 Sinsabaugh et al. (2003), que encontraram coeficientes temporais de variação superior a
286 45% para quatro das dez enzimas do solo em floresta.

287

288 **Agradecimento**

289 Ao conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

290

291 **Literatura Citada**

292

293 ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, 46 (2): 72-77, 1955.

294

295 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos:**
296 **classificação**; NBR 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 63 p.

297

298 BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A (Ed). **Methods of soil**
299 **analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of
300 Agronomy, 1986. Chap. 13, p. 363-375.

301

302 BONGERS, T. The maturity index: An ecological measure of environmental
303 disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, 83: 14-19, 1990.

304

305 CHAMEN, T. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a
306 review Part 2. Equipment and field practices. **Soil & Tillage Research**, 73: 161-174,
307 2003.

308

- 309 FRECKMAN, D.W. Parameters of the nematodes contribution to ecosystems. In:
310 Freckman, D.W. (Ed.) **Nematodes in soil ecosystems**. University of Texas Press,
311 Austin. 1982. p.81-97.
312
- 313 FRECKMAN, D.W.; CASWELL, E. P. The ecology of nematodes in agroecosystems.
314 **Annual Review of Phytopatology**, 23: 275-296, 1985.
315
- 316 FRECKMAN, D.W. Bacterivorous nematodes and organic-matter decomposition.
317 **Agriculture Ecosystems and Environment**, 24: 195-217, 1988.
318
- 319 GOMES, G. S.; HUANG, S. P.; CARES, J.E. Nematode community, trophic structure
320 and population fluctuation in soybean fields. **Fitopatologia brasileira**, 28: 258-266,
321 2003
- 322 HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.;
323 VALENTINE, C.; STEWARD, B.A. (Ed.). **Methods for assessment of soil**
324 **degradation**: advances in soil science. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-79.
325
- 326 HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable
327 soils and the environment. **Soil Tillage Research**, 35: 23-36, 1995.
328
- 329 IMHOFF, S.; DA SILVA, A.P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load
330 support capacity, and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of**
331 **America Journal**, 68: 17-24, 2004.
332

- 333 INGHAM, R.E.; TROFYMOW, J.A.; INGHAM, E.R.; COLEMAN, D.C. Interaction of
334 bactéria, fungi and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth,
335 **Ecol. Monogr.**, 55: 119-140, 1985.
- 336
- 337 JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from
338 soil. **Plant Disease Reporter**, 48: 692, 1964.
- 339
- 340 KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de cultura Venezuelana, 1948. 278p.
- 341
- 342 LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from
343 eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, 44: 450-457, 1980.
- 344
- 345 LAAKSO, J.; SETELA, H.; PALORJAVI, A. Influence of decomposer food web
346 structure and nitrogen availability on plant growth. **Plant Soil**, 225: 153-165, 2000.
- 347
- 348 MAI, W.F.; MULLIN, P.G.; LYON, H.H.; LOEFFLE, K. **Plant-parasitic nematodes:**
349 **a pictorial key to genera**. 5th Ed. Cornell University Press, Ithaca, 1996. 277 p.
- 350
- 351 NEHER, D.A.; CAMPBELL, C.L. Nematode communities and microbial biomass in
352 soils with annual and perennial crops. **Applied Soil Ecology**, 1: 17-28, 1994.
- 353
- 354 OMETTO, A.R. **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor**
355 **sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. São Carlos. 225p. Dissertação
356 (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

357

358 PAGEL, G. Setor Sucroalcooleiro: mudança de cenário e das perspectivas. Sociedade
359 Rural Brasileira, 3p. Disponível em: [HTTP:WWW.srb.org.br/](http://WWW.srb.org.br/) Acessado em 07/10/2008.

360

361 PRADO, R. de M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. de. Sistemas de preparo e
362 resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo
363 intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37 (12): 1795-1801, 2002.

364

365 SAMOILOFF, J. Nematodes as indicators of toxic environmental contaminants. In:
366 VEECH, J.A.; DICKSON, D.W. **Vistas on Nematology**. Soc. Nematol., Inc.,
367 Hyattville, p. 433-439, 1987.

368

369 SEIXAS, F. **Compactação do solo devido a colheita de madeira**. Piracicaba, 2000.
370 75p. (Tese Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
371 Universidade de São Paulo.

372

373 STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. Recomendação para uso do
374 penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. STAB. **Açúcar, Álcool &**
375 **Subprodutos**, 1 (3) 18-23, jan./fev, 1983.

376

377 STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by
378 the incorporation of peat. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 60: 15- 24,
379 1995.

380

- 381 YEATES, G.W.; BONGERS, T; GOEDE, R.G.M.; FRECKMAN, D.W;
382 GEORGIEVA, S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for
383 soil ecologist. **Journal of nematology**, 25: 315-331, 1993.
384
385 YEATES G. W.; COLEMAN, D. C. Nematodes in decomposition. In: Freckman, D. W.
386 (Ed). **Nematodes in soil ecosystems**. Austin, University of Texas, 1982, p. 55-80.

387 **Tabela 1.** Abundância, média e dominância da nematofauna de uma área de tabuleiro cultivada com cana-de-açúcar irrigada com vinhaça
 388 em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a segunda, 10 dias após o corte da cana (30 dias
 389 antes da aplicação de vinhaça); e, a terceira, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Grupo Trófico/ Táxon	Antes do corte da cana			Após o corte da cana			Após aplicação da vinhaça		
	A ^a	Média ± DP ^b	D ^c (%)	A ^a	Média ± DP ^b	D ^c (%)	A ^a	Média ± DP ^b	D ^c (%)
Onívoros	14063	33,64±72,11	31,54	13542	32,23±60,75	22,80	7814	32,31±50,42	13,72
Predadores	360	1,72±6,88	0,80	112	0,53±5,49	0,19	0	0	0
Bacteriófagos	6148	29,41±50,79	13,79	8101	38,57±110,72	13,63	16092	76,62±125,97	28,26
Micófagos	454	2,17±6,63	1,02	574	2,73±16,76	0,96	386	1,83±8,54	0,68
Parasitas de plantas									
<i>Meloidogyne</i>	4795	22,94±50,60	10,75	6404	30,49±76,97	10,78	2502	11,91±29,89	4,39
<i>Rotylenchulus</i>	19	0,09±1,31	0,04	253	1,20±8,89	0,42	204	0,97±11,43	0,36
<i>Pratylenchus</i>	3634	17,38±33,68	8,15	5745	27,35±62,81	9,67	8327	39,65±71,66	14,62
<i>Helicotylenchus</i>	3575	17,09±84,98	8,01	3928	18,70±62,41	6,61	27,32	13,00±37,26	0,05
<i>Trichodorus</i>	1396	6,67±13,90	3,13	925	4,40±17,39	1,56	529	2,51±11,60	0,93
<i>Paratrichodorus</i>	39	0,18±1,90	0,09	225	1,07±6,98	0,37	164	0,78±5,65	0,29
<i>Xiphinema</i>	797	3,81±13,41	1,79	1984	9,44±34,76	3,34	1387	18,86±1387	2,44
<i>Criconemela</i>	9298	44,48±66,47	20,86	17604	83,82±130,20	29,63	19519	138,13±19519	34,27
Nematóides Totais	44578			59397			56951,32		
M/B ^d		0,07			0,07			0,02	
(O+P)/(B+M+PP)		0,20			0,30			0,16	

390 A^a (Abundância) = somatório do número de nematóides nas 210 amostras de cada época por taxa por 300 cm³ de solo, Média ± DP^b= Número médio e desvio padrão
 391 de nematóides por 300 cm³ de solo em cada época de coleta, D^c (%) = Dominância de cada grupo trófico e taxa expresso em porcentagem, M/B^d = razão média entre
 392 micófago e bacteriófago, (O+P)/(B+M+PP) = razão média entre onívoros + predadores e bacteriófagos + micófagos + parasitos de plantas.

393 **Tabela 2.** Média e coeficiente de variação de variáveis físicas e nematológicas em três
 394 períodos do cultivo da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a
 395 segunda, 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e, a
 396 terceira, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Variável	Antes do corte da cana	Após o corte da cana	Após aplicação da vinhaça
	Média	Média	Média
Dorilaymidae	48,26 a	53,35 a	35,37 b
Mononchidae	1,80 a	0,53 b	0 b
Rhabditidae	29,27 b	38,57 b	76,63 a
Cephalobidae	18,70 b	11,12 c	29,25 a
Aphelenchidae	2,16 a	2,73 a	1,83 a
<i>Meloidogyne</i>	22,83 ab	30,49 a	11,91 b
<i>Rotylenchulus</i>	0,09 a	1,20 a	0,97 a
<i>Pratylenchus</i>	17,30 b	27,35 ab	39,65 a
<i>Helicotylenchus</i>	17,01 a	18,70 a	13,01 a
<i>Trichodorus</i>	6,65 a	4,40 ab	2,52 b
<i>Paratrichodorus</i>	0,18 a	1,07 a	0,78 a
<i>Xiphinema</i>	3,60 b	9,44 a	6,60 ab
<i>Criconemella</i>	44,04 b	83,83 a	92,95 a
Areia	93,09 a	93,09 a	93,09 a
Silte	2,11 a	2,11 a	2,11 a
Argila	4,79 a	4,79 a	4,79 a
Dens. Partículas	2,66 a	2,66 a	2,66 a
Dens. Solo	1,60 a	1,53 b	1,41 c
Porosidade	0,40 c	0,42 b	0,47 a
Umidade	0,07 b	0,04 c	0,12 a

397 Medias com a mesma letra na mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao
 398 nível de 5% de probabilidade.

399 **Tabela 3.** Coeficientes de Correlação significativa entre as distribuições dos taxas que compõem a nematofauna associada a rizosfera em
 400 área de tabuleiro, em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a segunda, 10 dias após o corte
 401 da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e, a terceira, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

	Bacteriófagos	Micófitos	Onívivos	Predadores	<i>Meloidogyne</i>	<i>Rotylenchus</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Helicotylenchus</i>	<i>Trichorus</i>	<i>Paratrichodorus</i>	<i>Xiphinema</i>
Antes do corte da cana											
Onívivos	0,36**										
<i>Meloidogyne</i>	0,20**		0,17**								
<i>Pratylenchus</i>	0,24**		0,42**		0,33**						
<i>Helicotylenchus</i>	0,17**		0,24**				0,29**				
<i>Trichodorus</i>	0,15*		0,35**		0,18**		0,24**	0,36**			
<i>Xiphinema</i>	0,15*		0,23**		0,16*		0,17**				
<i>Criconemella</i>	0,18**		0,26**		0,40**		0,34**	0,22**	0,20**		
Após o corte da cana											
Micófitos			0,17**								
<i>Meloidogyne</i>	0,26**		0,19**								
<i>Pratylenchus</i>	0,53**		0,26**		0,14*						
<i>Helicotylenchus</i>					0,17*		0,20**				
<i>Trichodorus</i>				0,17*							
<i>Paratrichodurus</i>	0,25**					0,25**					
<i>Xiphinema</i>			0,13*		0,25**				0,37**		
<i>Criconemella</i>			0,45**	0,18**	0,23**		0,27**	0,15*			0,20**
Após aplicação da vinhaça											
Onívivos	0,23**										
<i>Pratylenchus</i>			0,30**		0,26**						
<i>Helicotylenchus</i>			0,29**		0,15*		0,23**				
<i>Xiphinema</i>							0,26**	0,31**			
<i>Criconemella</i>	0,20**				0,24**		0,36**				0,22**

402 *significativo ao nível de 5% e **significativo ao nível de 1% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson.

403 **Tabela 4.** Coeficientes de Correlação significativa entre as distribuições dos taxas que compõem a nematofauna associada a rizosfera e a
 404 física do solo em área de tabuleiro, em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a segunda, 10
 405 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e, a terceira, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da
 406 vinhaça no solo)

	Bacteriófagos	Micófitos	Onívoro	Predadores	<i>Meloidogyne</i>	<i>Rotylenchulus</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Helicotylenchu</i>	<i>Trichodorus</i>	<i>Paratrichodorus</i>	<i>Xiphinema</i>	<i>Criconemella</i>
Antes do corte da cana												
Areia		0,13*	-0,17*									
Silte		-0,17**										
Argila			0,20**									
DPartic						-0,13*						
Porosidade						-0,17**						
Θm							0,19**		0,18**			
Após o corte da cana												
Areia	-0,24**						-0,28**			-0,17**		-0,14*
Silte	0,30**						0,33**			0,15*		0,16*
DPartic			-0,13*						-0,15*			-0,15*
Porosidade												-0,14*
Θm	0,30**						0,31**				-0,20**	
Após aplicação da vinhaça												
Areia	-0,25**											0,20**
Silte	0,26**										-0,14*	-0,21**
Argila	0,14*		-0,16*									
DSolo		0,13*								-0,15	0,13*	
DPartic												
Porosidade		-0,15*										-0,15*
Θm			0,14*							0,20**		

407 Mico = Micófito, Onív = Onívoro, Pred = Predadores, *Meloido* = *Meloidogynes* sp., *Rotylen* = *Rotylenchus* sp., *Pratylen* = *Pratylenchus* sp., *Helicoty* =
 408 *Helicotylenchus* sp., *Trichod* = *Trichodorus* sp., *Paratric* = *Paratrichodorus* sp., *Xiphine* = *Xiphinema* sp., *Cricone* = *Criconemella* sp., DSolo = Densidade do solo,
 409 DPartic = Densidade de partícula, Θm = Umidade do solo (g/g). *significativo ao nível de 5% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson, **significativo
 410 ao nível de 1% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson.

**FLUTUAÇÃO VERTICAL DA NEMATOFUNA E
ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA
COLHEITA E APLICAÇÃO DE VINHAÇA EM
CANA-DE-AÇÚCAR**

CAPÍTULO 3

1 **Flutuação Vertical da Nematofauna e Atributos Físicos do Solo em Função da**
2 **Colheita e Aplicação de Vinhaça em Cana-de-açúcar**

3 Thiciano L. Miranda¹, Elvira M. R. Pedrosa^{1*}, Mário M. Rolim¹, Enio F. de F. e Silva¹

4
5 ¹Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP
6 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

7 *Bolsista de Produtividade CNPq

8
9 **Resumo**

10
11 Avaliaram-se variações na distribuição vertical da nematofauna e de atributos
12 físicos do solo resultantes das operações de colheita e aplicação de vinhaça em área
13 cultivada com cana-de-açúcar na Mata Norte de Pernambuco. As avaliações
14 fundamentaram-se na densidade do solo, densidade de partículas, porosidade,
15 granulometria e caracterização da estrutura trófica da nematofauna. As avaliações foram
16 efetuadas antes e após o corte da cana, e antes e após aplicação de vinhaça.
17 Horizontalmente as amostras foram coletadas em malha de 60×50 m, em 42 pontos.
18 Verticalmente, em cada ponto, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10,
19 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. De maneira geral, as densidades populacionais de
20 nematóides diminuíram com a profundidade. As maiores densidades ocorreram nas
21 camadas de 0 a 20 cm. Os taxa encontrados não mostraram variações significativas após
22 as operações de colheita ou adição de vinhaça no solo. Ocorreram poucas variações
23 físicas no solo com o aumento da profundidade, exceto teor de areia e silte que

24 apresentaram comportamento inverso. A adição de vinhaça promoveu reduções na
25 densidade do solo e incrementos na umidade e porosidade.

26

27 **Palavras-chaves:** Nematóides, agroecossistema, biodiversidade, qualidade de solo,
28 aproveitamento de resíduo

29

30 **Summary:** Miranda, T.L.; Pedrosa, E.M.R.; Rolim, M.M.; Silva, E.F.F. Vertical
31 fluctuation of nematode community and physical soil attributes as result of harvest and
32 stillage application in sugarcane

33

34 It was evaluated changes on vertical distribution of nematode community and
35 physical soil attributes due to harvest and stillage application in a sugarcane intensively
36 cultivated area in North Mata of Pernambuco. Evaluations based on soil humidity and
37 density, resistance to compactness, porosity, granulometry, particle density, and trophic
38 structure of nematode community. Evaluations were carried out before and after both
39 sugarcane cut and stillage application. Horizontally, samples were collected in 42 points
40 within a 60×50 m square. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20,
41 20-30, 30-40, 40-50 cm deep. In general, nematode density decreased along with deep.
42 The higher densities occur from 0 to 20 cm. The taxa did not vary significantly after
43 harvest or stillage application in soil. There was little variation in physical properties
44 due to deep, except in sand and silt content, which presented inverse response. Stillage
45 addition decreased soil density in contrast to porosity and humidity increases.

46

47 **Key Words:** Agroecosystem, biodiversity, nematode, soil quality, residue use

48

49 **Conteúdo**

50 O Estado de Pernambuco possui extensas áreas que foram desmatadas e
51 convertidas em sistemas de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). O manejo
52 deste sistema por centenas de anos afetou as áreas de cultivo levando à compactação,
53 aumento da incidência de pragas e doenças e comprometimento da qualidade do solo.

54 Segundo Duamanski & Pieri (2000), qualidade do solo e agrobiodiversidade estão
55 intimamente ligadas e, desse modo, devem ser avaliadas em conjunto por meio da
56 caracterização dos principais grupos funcionais no solo, especificamente a macrofauna
57 (minhocas e cupins), nematóides, microorganismos simbioses (micorrizas e fixadores
58 de nitrogênio) e biomassa microbiana (fungos, bactérias e protistas). Os nematóides são
59 organismos de ocorrência natural na maioria dos solos, considerados importantes
60 participantes na decomposição e ciclagem de nutrientes (Yeats, 2003).

61 Ao contrário de um estado puramente físico e apático, a estrutura ativa do solo,
62 representa o resultado de um complexo processamento biológico contínuo,
63 permanentemente ativado pela energia gerada através da matéria orgânica e suprida aos
64 microorganismos e a mesofauna. Esses agentes são responsáveis por um grande número
65 de fenômenos bioquímicos, de vital importância para o atendimento às múltiplas
66 funções nessa dinâmica do solo (Tibal, 1977). Além do mais a estabilidade estrutural do
67 solo é melhorada por altos níveis de atividade biológica, estando intimamente associada
68 com o conteúdo de matéria orgânica (Walker et al., 1996). De acordo com Primavesi
69 (1952), a estrutura do solo desenvolvida pela atividade microbiana confere forma e grau
70 ideais de permeabilidade ao solo e esse condicionamento perfeito e vital resolve

71 simultaneamente o problema da erosão, cuja intensidade é inversamente proporcional à
72 permeabilidade do solo.

73 A densidade real do solo é a massa de uma unidade de volume dos sólidos do solo
74 e de acordo com Vieira (1975) e Brady (1983), a matéria orgânica influencia reduzindo
75 o peso específico real do solo, para o qual vale a sinônima densidade real, densidade de
76 partículas. De acordo com Brady (1983) a densidade real de solos puramente minerais
77 varia de 2,5 a 2,75 g.cm⁻³. Com relação ao efeito da matéria orgânica sobre essa
78 propriedade do solo, Vieira (1975) explica que esses valores de densidade real podem
79 chegar a 1,95 pela ação da matéria orgânica. Para solos originários de rochas básicas
80 (basaltos, diabásio, gabro), entretanto, sem o efeito atenuador da matéria orgânica, os
81 valores de densidade real podem chegar a 3,2 ou mais.

82 Os processos de decomposição nos solos são intermediados pela ação de fungos e
83 bactérias, embora dependam primeiramente das plantas como fonte de matéria orgânica.
84 O uso relativo de bactérias e fungos por nematóides refletem diferenças nas rotas ou
85 canais de decomposição entre diferentes regimes de manejo agrícola ou ecossistemas
86 (Yeates, 2003). Dessa forma, os nematóides desempenham importante papel regulando
87 as populações fúngicas e bacterianas do solo e, conseqüentemente, a ciclagem de
88 nutrientes.

89 A sustentabilidade de um sistema agrícola fundamenta-se na necessidade de que
90 as condições físicas e químicas do solo permaneçam adequadas ao bom
91 desenvolvimento da planta (Wild, 1988). Os nutrientes removidos na agricultura devem
92 ser devolvidos. Por outro lado, as condições físicas do solo não devem permitir
93 deteriorização, ao contrário, devem fornecer umidade adequada ao desenvolvimento da
94 cultura. O objetivo do presente estudo foi avaliar a flutuação vertical de diferentes *taxa*

95 de nematóides e das variáveis físicas: densidade do solo, densidade de partículas,
96 porosidade e granulometria, antes e após as operações de colheita e adição de vinhaça
97 ao solo, em área cultivada intensamente com cana-de-açúcar nas condições da Mata.

98 O estudo foi realizado na bacia do rio Goiana, situado na microrregião da Mata
99 Setentrional do estado de Pernambuco, em solo com teores médios de 48, 21 e 931 g
100 kg¹ de argila, silte e areia, respectivamente, apresentando textura arenosa. O clima local
101 foi classificado de acordo com o sistema de Kopper (1948) tropical chuvoso tipo As' ou
102 "pseudotropical", que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas que se
103 concentram entre os meses de março a agosto com temperaturas médias anuais variando
104 em torno de 24°C, durante esse período (os menos quentes do ano), com amplitude
105 térmica anual bastante fraca (cerca de 3°C), com isoietas que variam de 1932,3 a 975,6
106 mm anuais. A área tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais 20
107 anos, sempre com cana-de-açúcar.

108 As avaliações foram efetuadas em uma mesma área, em três períodos do cultivo
109 da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a segunda, 10 dias após o
110 corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e, a terceira, 50 dias após o corte
111 da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo). As análises físicas fundamentaram-
112 se na determinação da resistência do solo à penetração, umidade, densidade do solo,
113 densidade de partículas, porosidade e granulometria. A caracterização da estrutura da
114 nematofauna fundamentou-se na abundância (densidade populacional) e dominância dos
115 taxa encontrados.

116 Horizontalmente, as amostras foram coletadas em 42 pontos georeferenciados,
117 com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando malha de 60 × 50 m, constituída
118 de seis ruas e sete pontos em cada rua. Verticalmente, em cada ponto foi aberta uma

119 trincheira e coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40,
120 40-50 cm, totalizando 630 amostras de solo.

121 As amostras de solo foram obtidas com auxílio de um trado de amostras
122 indeformadas, com cilindros de aço inoxidável, com 50 mm de diâmetro e 26,5 mm de
123 altura e 50 cm³. Cada amostra foi acondicionada em recipiente plástico para o transporte
124 até o laboratório. Posteriormente, as amostras de solo foram preparadas e pesadas para
125 obtenção do conteúdo de água (g) e depois levadas à estufa a 105 °C por 48 h para
126 obtenção da massa seca (g). A densidade do solo foi determinada conforme (Blake;
127 Hartge, 1986). A umidade gravimétrica foi determinada em cada amostra através da
128 relação entre massa de água e massa de solo seco de cada amostra. A porosidade total
129 do solo foi calculada considerando o volume de água (densidade = 1Mg m⁻³) contida
130 nas amostras quando saturadas, uma vez que este é o mesmo volume que o volume de
131 poros da amostra. As diferentes classes texturais foram determinadas após dispersão da
132 amostra em solução de 1 N de NaOH em água e separação das diferentes classes
133 granulométricas pelo método de pipeta.

134 Para as análises nematológicas, após a coleta, as amostras foram acondicionadas
135 em sacos plásticos devidamente etiquetados e encaminhadas ao laboratório de
136 Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As amostras foram
137 homogeneizadas e processadas para extração, a partir de 300 cm³ de solo, utilizando-se
138 o método da flotação centrífuga (Jenkins, 1964). As suspensões de fitonematóides
139 obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6 °C), realizando-se a identificação genérica
140 e contagem dos espécimes em lâminas de Peters, sob microscópio óptico, em duas
141 repetições, e os resultados computados em número de espécimes por 300 cm³ de solo.

142 Os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos
143 tróficos (parasitos de plantas, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros), baseado
144 na morfologia do estômago e esôfago, segundo Yeates *et al.* (1993). Para os nematóides
145 parasitos de plantas foram efetuadas identificações ao nível de gênero segundo a chave
146 de Mai *et al.* (1996). A análise dos dados foi determinada por meio de análise
147 multivariada de medidas repetidas, utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de
148 probabilidade para comparação das médias e pela estatística descritiva (média, desvio
149 padrão, erro padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação).

150 De maneira geral, as densidades dos diferentes taxa de nematóides diminuíram
151 com a profundidade, exceto *Meloidogyne* sp. na segunda e terceira coleta (Tabela 1). As
152 maiores densidades ocorreram nas camadas de 0 a 20 cm, embora os ectoparasitos
153 tendessem coabitar uma faixa maior, resultando em uma maior distribuição na camada
154 de 0 a 30 cm do solo. Os taxa encontrados não mostraram variações significativas após
155 as operações de colheita ou adição de vinhaça so solo.

156 Em relação às variáveis físicas do solo, ocorreram poucas variações com o
157 aumento da profundidade, exceto no teor de areia e silte que apresentaram
158 comportamento inverso (Tabela 2). A umidade, porosidade e densidade do solo
159 mostraram-se sensíveis à adição de vinhaça que promoveu reduções na densidade do
160 solo e incrementos na umidade e porosidade. Por outro lado, é importante salientar que
161 os nematóides presentes nas amostras refletem não apenas a densidade populacional no
162 campo em determinado tempo e profundidade, mas também os efeitos dos
163 procedimentos usados na amostragem e extração.

164 Muitas espécies de nematóides mostram preferência por certos tipos e texturas
165 específicas do solo (Norton, 1978; Wallace, 1973). Também é conhecido que a

166 reprodução e dano de nematóides fitoparasitas são maiores em solo arenoso que no solo
167 de argiloso (Barker & Weeks, 1991). Noe e Barker (1985) demonstraram que a
168 densidade do solo pode afetar a distribuição e a dinâmica de alguns nematóides
169 parasitos de plantas. Por outro lado, condições de estresse, em particular as altas
170 temperaturas e baixas precipitações, associadas à textura arenosa e baixa atividade
171 microbiana na área estudada são fatores que podem ser apontados como suporte para a
172 baixa diversidade, embora não existam evidências de que a diversidade ou
173 complexidade supostamente afete a estabilidade de propriedades ou de processos do
174 ecossistema (Cragg & Bardgett, 2001).

175

176 **Agradecimento**

177 Ao conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

178

179 **Literatura Citada**

180 BARKER, K.R.; WEEKS, W.W. Relationships between soil and levels of *Meloidogyne*
181 *incognita* and tobacco yield and quality. **Journal of Nematology**, 23: 82-90, 1991.

182

183 BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand. 1983.

184

185 CAVENESS, F.E.; BADRA, T. Control of *Helicotylenchus multicinctus* and
186 *Meloidogyne javanica* in established plantain and nematode survival as influenced by
187 rainfall. **Nematropica**, 10: 10-14, 1980.

188

- 189 CRAGG, R.G.; BARDGETT, R.D. How changes in soil faunal diversity and
190 composition within a trophic group influence decomposition process. **Soil Biology and**
191 **Biochemistry**, 33:2073-2081, 2001
- 192
- 193 DUAMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plant. **Agriculture,**
194 **Ecosystems & Environment**, 81: 155-162, 2000.
- 195
- 196 JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from
197 soil. **Plant Disease Reporter**, 48: 692, 1964.
- 198
- 199 KARLEN, D.L.; WOLLWENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN,
200 J.B.; EASH, N.S.; JORDAHL, J.L. Crop residue effects on soil quality following 10-
201 years of no-till corn. **Soil Tillage Residue**, 31: 149-167, 1994.
- 202
- 203 KOPPER, W. *Climatologia*. México: Fondo de cultura Venezolana, 1948. 278p.
- 204 MAI, W.F.; MULLIN, P.G.; LYON, H.H.; LOEFFLE, K. **Plant-parasitic nematodes:**
205 **a pictorial key to genera**. 5th Ed. Cornell University Press, Ithaca, 1996. 277 p.
- 206
- 207 NOE, J.P.; BARKER, K.R. Relation of within-fields spatial variation of plant-parasitic
208 nematode population densities and edaphic factors. **Phytopathology**, 75: 247-252,
209 1985.
- 210
- 211 NORTON, D.C. **Ecology of plant-parasitic nematodes**. John Wiley & Sons, Inc., New
212 York. 1978.

213

214 PRIMAVESI, A. **A erosão**. São Paulo: Melhoramentos, 1952.

215

216 STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. Recomendação para uso do
217 penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. STAB. **Açúcar, Álcool &**
218 **Subprodutos**, 1 (3) 18-23, jan/fev, 1983.

219

220 TIBAU, A.O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. Nobel, São Paulo SP, 2 edição.
221 1977.

222

223 VIEIRA, L.S. **Manual de ciência do solo**. Ceres, São Paulo, 1975.

224

225 WALLACE, H.R. **Nematode ecology and plant disease**. Edward Arnold, London,
226 1973.

227

228 WALKER, J.; ALEXANDER, D.; IRONS, C.; JONES, B.; PENRIDGE, H.;
229 RAPPORT, D. Indicators of catchment health: a technical perspective. Melbourne:
230 CSIRO, cap.1, 1996. p.3-18.

231

232 YEATS, G.W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects.
233 **Biology and Fertility of Soils**, 37:199-210, 2003.

234 **Tabela 1.** Densidade populacional de *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., nematóides
 235 ectoparasitos e de vida livre, em diferentes profundidades, em três períodos do cultivo
 236 da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a segunda, 10 dias após o
 237 corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e, a terceira, 50 dias após o corte
 238 da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Profundidade (cm)	Antes do corte da cana	Após o corte da cana	Após aplicação da vinhaça
<i>Meloidogyne</i> sp.*			
0-10	47,45aA	34,86aAB	11,78aB
10-20	39,86aA	43,62aA	12,26aA
20-30	24,00bA	46,29aA	14,54aA
30-40	1,69bcA	16,33aA	10,21aA
40-50	1,17cA	11,38aA	6,07aA
<i>Pratylenchus</i> sp.			
0-10	46,28aA	56,55aA	51,64abA
10-20	27,38bB	52,02aAB	73,93aA
20-30	8,38cB	16,74bAB	37,24bA
30-40	3,69cA	6,67bA	5,98cA
40-50	0,78cA	4,81bA	9,62cA
Ectoparasitos			
0-10	90,07aA	159,31aA	106,71abA
10-20	106,33aA	170,31aA	152,45aA
20-30	108,98aA	115,64abA	126,69abA
30-40	34,60bA	54,88bA	99,24abA
40-50	17,95bA	60,83bA	63,74bA
Vida livre			
0-10	181,90aA	187,43aA	227,74aA
10-20	126,60abA	142,31abA	199,84aA
20-30	90,21bcA	92,64bcA	148,34aA
30-40	59,76 cdA	51,74cA	85,08bA
40-50	42,60dA	57,52cA	54,50bA

239 *Espécimes por 300cc solo. Na mesma linha, médias com a mesma letra minúscula e na mesma coluna
 240 médias com a mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukeyao nível
 241 de 5% de probabilidade.

242 **Tabela 2:** Caracterização física do solo, em diferentes profundidades, em três períodos
 243 do cultivo da cana-de-açúcar: a primeira, 30 dias antes do corte da cana; a segunda, 10
 244 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e, a terceira, 50 dias
 245 após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Profundidade (cm)	Antes do corte da cana	Após o corte da cana	Após aplicação da vinhaça
Areia (%)			
0-10	92,46 cA	92,46 cA	92,46 cA
10-20	92,71 bcA	92,71 bcA	92,71 bcA
20-30	93,21 abcA	93,21 abcA	93,21 abcA
30-40	93,64 aA	93,64 aA	93,64 aA
40-50	93,42 abA	93,42 abA	93,42 abA
Silte (%)			
0-10	2,48 aA	2,48 aA	2,48 aA
10-20	2,41 abA	2,41 abA	2,41 abA
20-30	2,03 abcA	2,03 abcA	2,03 abcA
30-40	1,85 bcA	1,85 bcA	1,85 bcA
40-50	1,76 cA	1,76 cA	1,76 cA
Argila (%)			
0-10	5,05 aA	5,05 aA	5,05 aA
10-20	4,86 abA	4,86 abA	4,86 abA
20-30	4,74 abA	4,74 abA	4,74 abA
30-40	4,59 bA	4,59 bA	4,59 bA
40-50	4,71 abA	4,71 abA	4,71 abA
Densidade do solo (g. cm ⁻³)			
0-10	1,54 aA	1,50 bA	1,37 aB
10-20	1,52 aA	1,55 abA	1,40 aB
20-30	1,53 aA	1,55 aA	1,42 aB
30-40	1,54 aA	1,52 abA	1,40 aB
40-50	1,55 aA	1,52 abA	1,43 aB
Densidade de partículas (g. cm ⁻³)			
0-10	2,61 bA	2,61 bA	2,61 bA
10-20	2,67 abA	2,67 abA	2,67 abA
20-30	2,66 abA	2,66 abA	2,66 abA
30-40	2,70 aA	2,70 aA	2,70 aA
40-50	2,68 abA	2,68 abA	2,68 abA
Porosidade (%)			
0-10	0,38 bC	0,42 aB	0,47 aA
10-20	0,40 abB	0,41 aB	0,47 aA
20-30	0,39 abB	0,41 aB	0,46 aA
30-40	0,401aB	0,43 aB	0,48 aA
40-50	0,40abB	0,42 aB	0,46 aA
Umidade (g.g ⁻¹)			
0-10	0,08 aAB	0,05 aB	0,12 aA
10-20	0,08 aB	0,05 aB	0,13 aA
20-30	0,07 abA	0,04 aB	0,11 aA
30-40	0,06 abB	0,04 aB	0,12 aA
40-50	0,05 bB	0,03 aB	0,10 aA

246 Na mesma linha, médias com as mesma letra minúscula e na mesma coluna médias com a mesma letra
 247 maiúscula não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukeyao nível de 5% de probabilidade.