

ALUÍZIO TAVARES CORDEIRO NETO

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E DA VINHAÇA
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DA
CANA-DE-AÇÚCAR PARASITADA POR NEMATOIDES**

Recife

2012

ALÚZIO TAVARES CORDEIRO NETO

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E DA VINHAÇA NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR
PARASITADA POR NEMATOIDES**

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.

Orientadora: Prof^a Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa

Co-orientador: Prof^o Dr. Mário Monteiro Rolim

Recife

2012

Ficha Catalográfica

C794e Cordeiro, Aluízio
Efeito da compactação do solo e da vinhaça no desenvolvimento inicial e nutrição da cana-de-açúcar parasitada por nematoides / Aluízio Cordeiro. -- Recife, 2012.
67 f. : il.

Orientador(a): Elvira Maria Régis Pedrosa.
Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Tecnologia Rural, Recife, 2012.
Referências.

1. Aproveitamento de resíduo 2. Solo – Densidade
3. Macronutriente 4. *Meloidogyne incognita* 5.
Saccharum
I. Pedrosa, Elvira Maria Régis, orientadora II. Título

CDD 630

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E DA VINHAÇA NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR
PARASITADA POR NEMATOIDES**

ALUÍZIO TAVARES CORDEIRO NETO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em: 28 de setembro de 2012

Prof.^ª. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa
ORIENTADORA

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto

Dra. Andréa Chaves

Recife
2012

À **minha família**, alicerce para tudo na minha vida,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, pois ele é a razão de tudo isso poder acontecer.

À Adolfo, Mariza e Marizinha, pois esses três me mostraram verdadeiramente o sentido da palavra FAMÍLIA, me ensinando valores tão raros hoje em dia.

À minha namorada Jéssyka (que conheci e aprendi a admirar nesse período), pelo amor, apoio e cumplicidade incondicionais que recebo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela possibilidade de realização do mestrado, bem como à Universidade Federal Rural de Pernambuco por toda minha formação profissional anterior.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Prof^a Elvira Pedrosa, por toda orientação, paciência e respeito que recebi durante o período do curso.

Ao Prof. Mário Rolim, por toda a orientação e colaboração dadas durante esse período.

À Sandra Maranhão, pela ajuda durante todas as etapas do projeto.

A todos da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC-UFRPE), em nome do Dr. Djalma Simões, pelo apoio técnico prestado.

À enorme turma de colegas da Pós (semestralmente ampliada) por todo apoio, amizade e momentos de descontração – e angústia – vividos. A escalação em ordem alfabética: Adriana Guedes, Alexandre, Anderson, Andrea, Celestino, Cícero, Daniel, Diogo, Eduardo, Gian, Gledson, Hugo, Igor, Janice, Joel, Karina, Mara, Marcos, Matheus, Max, Mércia, Miguel, Nadielan, Nicolas, Patrícia, Rafael, Rafael Fernandes, Raquele, Ricardo, Rochelle, Samuel, Sival, Tatiana Patrícia, Tatyana Keyty, Thaís, Toni, Uilka, Vinícius, Wellington, Zezito.

A todos do Laboratório de Fitonematologia – em especial Bárbara, Gabi, Jefferson, Marcela e Natália – e sem dúvidas a Mariana “pouca prática”, a “Estagiária do Ano”, pela amizade e ajuda que recebi durante a realização do experimento.

Enfim, agradeço a todos que porventura não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização dessa etapa na minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL	10
1 – Cana-de-açúcar	10
2 – Influência da nutrição mineral na cana-de-açúcar	11
3 – Compactação dos solos	14
4 – Fitonematoides	18
5 – Aplicação da vinhaça na cana-de-açúcar	20
LITERATURA CITADA	22
CAPÍTULO II – Interação compactação do solo × nematoide no desenvolvimento inicial e nutrição mineral da cana-de-açúcar	37
Resumo	37
Abstract	37
Introdução	38
Material e Métodos	39
Resultados e Discussão	43
Conclusões	52
Literatura citada	53
CAPÍTULO III – Efeito de doses crescentes de vinhaça nos teores de macronutrientes da cana-de-açúcar parasitada por nematoides	57
Resumo	57
Summary	57
Conteúdo	58
Literatura Citada	63

RESUMO

No presente estudo foram conduzidos dois experimentos. O primeiro avaliou os efeitos da interação entre a compactação do solo e o parasitismo de *Meloidogyne incognita* sobre os teores de macronutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar, desenvolvimento inicial da cultura e multiplicação dos nematoides. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 (variedades: RB962962 e RB863129) $\times 2$ (presença e ausência de nematoides) $\times 3$ (densidades do solo: 1,5, 1,6 e 1,7 g.cm⁻³). Após 15 dias da brotação, as mudas foram transplantadas para os vasos definitivos e inoculadas com aproximadamente 5 ovos de *M. incognita* por cm³ de solo (78000 ovos/vaso). Após 95 dias da inoculação, as plantas foram colhidas e avaliado o desenvolvimento das plantas, teores de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea e reprodução do nematoide. Para as duas variedades houve redução na altura e peso do colmo e aumento nos teores de Ca e Mg da parte aérea, quando na densidade de 1,7 g.cm⁻³, e redução no teor de K quando parasitadas. A RB962962 foi mais tolerante à compactação do solo apresentando incremento em peso e área foliares. No segundo estudo, os efeitos da incorporação ao solo de doses de vinhaça correspondentes a 0, 50, 100, 500 e 1000 m³.ha⁻¹ sobre a reprodução de *Meloidogyne incognita* e teores de macronutrientes na cana-de-açúcar variedade RB863129 foram determinados em delineamento inteiramente casualizado em casa de vegetação. As plantas foram inoculadas com 20.000 ovos de *M. incognita* por vaso 30 dias após a semeadura, imediatamente após aplicação da vinhaça, e os resultados avaliados 90 dias após a inoculação. A densidade populacional dos nematoides, fundamentada no número de ovos por planta, decresceu com o aumento das taxas de resíduo administradas. A incorporação da vinhaça promoveu redução significativa no número de ovos de *M. incognita* por planta, com máximo de redução obtido na dose de 728 m³.ha⁻¹, porém a presença dos nematoides promoveu decréscimo significativo no peso fresco das plantas. O teor de N na parte aérea foi maior na dose de 100 m³.ha⁻¹, enquanto que para o P e o K, houve ajuste quadrático atingindo seus máximos respectivamente nas doses de 507 e 425 m³.ha⁻¹. Para o Ca, Mg e S, não foram observadas diferenças entre os tratamentos.

Palavras-chave: Aproveitamento de resíduo, densidade do solo, macronutriente, *Meloidogyne incognita*, *Saccharum*

ABSTRACT

In the present study it was carried out two experiments. In the first one it was evaluate effects of soil compactness and *Meloidogyne incognita* parasitism interaction on macronutrient contents in shoots, sugarcane initial development and nematode reproduction. The experiment was carried out under greenhouse in a completely randomized design in a 2 (sugarcane varieties: RB962962 and RB863129) \times 2 (presence and absence of nematode) \times 3 (soil density: 1.5, 1.6 and 1.7 g.cm⁻³) factorial arrangement. Fifteen days after planting seedlings were moved to vases and inoculated with approximately 5 *M. incognita* eggs per cm³ of soil (78000 eggs per plant). After 95 days from inoculation, plants were harvest and it was evaluated plant development, N, P, K, Ca, Mg and S content in shoots and nematode reproduction. For both varieties at 1.7 g.cm⁻³ soil density there was reduction in plant height and weight and increase in Ca and Mg content in shoots, but there was decrease in K content of parasited plants shoots. Soil compactness increased weight and leaf area of RB962962. In the second experiment the effects of vinasse application in soil at rate of 0, 50, 100, 500 and 1000 m³.ha⁻¹ on *Meloidogyne incognita* reproduction and macronutrient content of sugarcane variety RB863129 were evaluated in a completely casualised design under greenhouse. Plants were inoculated with 20000 *M. incognita* eggs per vase 30 days after planting, immediately after vinasse application, and results evaluated 90 days after inoculation. Nematode population density, based on number of eggs per plant and per gram of root, decreased as residue rates increased. Vinasse application significantly reduced number of *M. incognita* eggs per plant with maximum reduction obtained at dose of 728 m³.ha⁻¹, but the presence of nematodes promoted significant decrease in weight of the plants. The N content in shoots was higher in the dose of 100 m³.ha⁻¹, while for P and K, quadratic fit was reaching its maximum respectively at doses of 507 and 425 m³.ha⁻¹. There was no difference among treatments for Ca, Mg and S.

Key words: residue use, soil density, macronutrient, *Meloidogyne incognita*, *Saccharum*

INTRODUÇÃO GERAL

1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea perene, originária do sudeste asiático, sendo cultivada mundialmente em regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, foi introduzida no início do século XVI, constituindo-se numa das primeiras atividades de importância econômica (GOMES, 2006; ROSA, 2005).

Ainda configura-se como uma das lavouras de maior importância econômica para o país em virtude das grandes áreas plantadas, gerando matéria-prima como base para as agroindústrias do açúcar e álcool, além de representar grande fonte de geração de empregos e renda no meio rural (CARDOSO, 2010).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar possuindo uma área cultivada e destinada à atividade sucroalcooleira estimada em 8.527.800 hectares para a safra 2012/13, apresentando um aumento de 2,1% em relação à área cultivada na safra anterior. O estado de São Paulo é o maior produtor com cerca de 4.419.460 hectares cultivados (51,82% da área total), seguido por Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul, Alagoas, e, na sétima colocação, Pernambuco, possuindo cerca de 309.740 hectares cultivados, correspondendo a 3,63% da área cultivada brasileira. A lavoura continua em expansão, sobretudo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (CONAB, 2012).

Os principais produtos obtidos da moagem da cana-de-açúcar são o açúcar e o etanol. A estimativa da atual safra brasileira é de que 50,42% da moagem sejam destinadas à produção de açúcar e 49,58% à produção de etanol, enquanto que em Pernambuco a situação é distinta: 77,41% destinados ao açúcar e 22,59% ao etanol (CONAB, 2012).

Para uma boa produção de cana-de-açúcar, três objetivos devem ser alcançados: alta produção de fitomassa por unidade de área, riqueza em açúcar dos colmos industrializáveis e manutenção da produtividade e qualidade da matéria-prima obtida ao longo do tempo (CÂMARA, 1993). Para conseguir tal feito, a integração entre diversos fatores deve ser alcançada, os quais são: fatores genéticos da planta, condições ideais de clima e solo, e tratos culturais e fitossanitários adequados (DIAS et al., 1999).

É importante ressaltar que, no Brasil, objetivando-se melhorar a produtividade da cultura, a partir do final da década de 1950 e início de 1960, todas as fases do processo produtivo da cana-de-açúcar passaram por um processo de modernização sendo

introduzidas novas variedades, utilizando-se defensivos agrícolas e realizando operações mecanizadas. Entre as regiões do Brasil este processo foi bastante heterogêneo, existindo regiões que ainda cultivam a cana com intensa utilização de mão-de-obra e outras com mecanização intensiva (VIAN et al., 2007). Com a utilização de diversas práticas mecanizadas, que vão desde o plantio até a colheita, um grande tráfego de maquinário pode ocorrer em uma mesma área o que provoca modificações nas condições físicas do solo (LANZANOVA et al., 2007), podendo comprometer a produtividade da cana-de-açúcar.

2. Influência da nutrição mineral na cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, assim como todos os vegetais superiores, tem sua matéria constituída de diversos elementos químicos. Além dos chamados elementos estruturais quais sejam o C (carbono), H (hidrogênio) e O (oxigênio), absorvidos do ar e da água, outros elementos minerais são considerados essenciais à cultura: N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), S (enxofre), os macronutrientes, exigidos em maiores quantidades, Mn (manganês), Fe (ferro), Cu (cobre), Zn (zinco), Mo (molibdênio), Cl (cloro), os micronutrientes, exigidos em menores quantidades, são obtidos sobretudo do solo (BONATO et al., 1998; KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002; PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003; MALAVOLTA, 2006).

A essencialidade baseia-se em dois critérios estabelecidos inicialmente por Arnon e Stout (1939): 1) direto – o elemento deve fazer parte de um composto ou de uma reação crucial para o metabolismo da planta; e 2) indireto – na sua ausência, a planta morre antes de completar seu ciclo; o elemento não pode ser substituído por nenhum outro; e o efeito do elemento não deve estar relacionado com o melhoramento de condições desfavoráveis do meio.

Para fazer parte do tecido vegetal, o elemento mineral participa de três processos: absorção, transporte e redistribuição. Para ocorrer a absorção, ou seja, a entrada do elemento no espaço intercelular vegetal via sistema radicular, deve haver o contato entre o elemento e a raiz. O contato pode ocorrer via interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. Por interceptação radicular entende-se o encontro da raiz, durante seu crescimento, com o elemento; já no fluxo de massa, o elemento dissolvido move-se juntamente com a solução do solo a favor de um gradiente de umidade (de uma região

úmida para uma mais seca no solo); por sua vez, na difusão o elemento move-se numa fase aquosa estacionária a curtas distâncias (MALAVOLTA, 2006).

Estabelecido o contato entre o elemento e a superfície radicular, o vegetal absorve-o através de um processo ativo, que requer gasto de energia, necessária para acumulá-los nos tecidos da planta em concentrações acima das encontradas na solução do solo. O transporte dos íons através da membrana plasmática baseia-se numa liberação de prótons que resulta em diferença de gradiente de concentração gerando os potenciais químicos e eletroquímicos, transportando assim os nutrientes para o interior das plantas através dos canais iônicos, carreadores e proteínas específicas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006).

Após ser absorvido, o elemento pode sofrer transporte e redistribuição na planta. Transporte é o movimento do elemento do local de absorção para outro local dentro ou fora do mesmo órgão; já a redistribuição é o movimento do elemento de um local de residência para outro qualquer, ou seja, do primeiro local ao qual foi transportado para outra parte da planta (MALAVOLTA, 2006).

Dessa forma, o conhecimento da exigência nutricional da cana-de-açúcar é fundamental para o estudo da adubação, indicando a quantidade de nutrientes a aplicar (COLETI et al., 2006). Entretanto, fatores como variedade, clima, ciclo da cultura, tipo e características do solo e quantidade de fertilizantes aplicados são fatores importantes que influenciam na composição mineral da planta (FRANCO et al., 2007).

Vários estudos existem a respeito do acúmulo e extração de nutrientes pela cana-de-açúcar e relatam variações relacionadas aos métodos de cultivo, variedades utilizadas, disponibilidade hídrica e de nutrientes, porém, no geral, citam que o N e o K são os mais requeridos pela planta (FRANCO et al., 2008; TASSO JUNIOR et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2011; WALE et al., 2011).

A análise mineral de tecidos é uma técnica que pode ser empregada para avaliar o estado nutricional das culturas, e dessa forma poder inferir sobre algum fator ser ou não prejudicial ao seu adequado desenvolvimento. Normalmente, a folha é a parte da planta utilizada na análise. Fato justificado pela folha apresentar uma alta atividade metabólica, refletindo, em sua composição, as mudanças nutricionais (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O N entra em contato com o sistema radicular através do fluxo de massa (99%) e a sua deficiência afetará diretamente a produtividade, pois o crescimento e a atividade meristemática ficam comprometidos, diminuindo o perfilhamento da cana-de-açúcar.

Porém, seu excesso causa diminuição do teor de fibras, e na fase de maturação pode causar diminuição no conteúdo de sacarose do colmo em virtude do crescimento vegetativo exagerado. (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; SILVEIRA, 1985; ORLANDO FILHO; RODELLA, 1996).

O P disponibiliza-se para absorção radicular através da difusão. Apesar de ser requerido em menores quantidades que outros macronutrientes, é um dos aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros devido a sua baixa disponibilidade natural e afinidade da fração argila por este elemento, o que torna um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais (RAIJ, 1991). Assim, o seu fornecimento passa a ser imprescindível para a obtenção de produções satisfatórias. Ele participa dos processos metabólicos, sendo componente dos ácidos nucléicos e dos fosfolipídios. Nas células está presente nos compostos ricos em energia como ATP, concentrando-se principalmente nos tecidos meristemáticos, colmos em crescimento e folhas novas. Desta maneira, quanto mais velhos os tecidos, menores teores de fósforo serão encontrados. Possui também importante função no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência de informações genéticas (DILLEWIJN, 1952; CASTRO, 2000; ROSSETTO; DIAS; VITTI, 2008).

O K é o elemento mineral absorvido em maiores quantidades pela cana-de-açúcar. Fluxo de massa e principalmente difusão são as formas como ele entra em contato com o sistema radicular. Desempenha inúmeras funções no vegetal, dentre as quais: estimula o perfilhamento, crescimento vegetativo e aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda na fixação do nitrogênio; participa do mecanismo de abertura estomática; influencia o transporte de sacarose das folhas para o colmo. (AQUINO et al., 1993; CASTRO, 2000).

De acordo com Alvarez (1975), o Ca, na forma de pectato de cálcio, faz parte da parede celular vegetal, dando estrutura e facilitando a absorção de água pela célula devido a sua função plasmolítica. É interceptado pelo sistema radicular através de fluxo de massa, sendo considerado um nutriente de pouca mobilidade no floema, assim, os primeiros sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais jovens. Seu acúmulo foi observado em folhas senescentes da cana-de-açúcar (SALDANHA; FREIRE; FREIRE, 2002).

O Mg, assim como o Ca, disponibiliza-se à absorção radicular principalmente através do fluxo de massa, porém, diferentemente daquele, é móvel na planta. Sua principal importância é ser constituinte da clorofila, constituindo cerca de 2,7% do peso

molecular desta, além de atuar como ativador enzimático do metabolismo energético (ALVAREZ, 1975; MALAVOLTA, 2006).

O enxofre (S), absorvido principalmente através de fluxo de massa, é constituinte estrutural das proteínas e participa de processos como a fotossíntese e a respiração. É um nutriente que possui efeito sinérgico com o N, ou seja, à medida que a absorção deste aumenta, aumenta também a de S (ARMBRUSTER, 1986; MALAVOLTA, 2006).

3. Compactação dos solos

De acordo com a Soil Science Society of America (1996), a compactação do solo é definida como “o processo pelo qual as partículas de solo são rearranjadas, diminuindo o espaço poroso entre elas e aumentando os contatos entre as mesmas, elevando dessa forma a densidade do solo”. Possui íntima relação com os agregados do solo, pois altera seus arranjos espaciais, tamanhos e formas, e conseqüentemente o espaço poroso dentro e entre essas unidades (DEFOSSEZ; RICHARD, 2002).

O processo de compactação do solo pode também ser entendido como uma redução do volume ocupado por uma determinada massa de solo quando uma tensão externa lhe é aplicada. Ela é tida como uma modificação no solo ocasionada principalmente por ação antrópica, decorrente do manejo inadequado ou intensivo de meios mecânicos, como pressão de pneus e implementos agrícolas ou pisoteio intensivo por animais (HORN; LEBERT, 1994; HAKANSSON; VOORHEES, 1998).

Os principais impactos negativos no solo provocados pela compactação que atuam diretamente sobre o crescimento das culturas são: redução da porosidade total, sobretudo da macroporosidade – os microporos permanecem praticamente inalterados – aumento da resistência à penetração das raízes (STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002), diminuição da concentração de oxigênio, menor taxa de mineralização da matéria orgânica no solo, e difusão lenta de nutrientes e de oxigênio para as raízes (COSTA, 1998), diminuindo então a disponibilidade e a absorção de água e de nutrientes por parte das plantas (PEDROTTI; VAHL; PAULETTO, 1994).

Sabe-se que a aeração do solo é necessária para haver um máximo de absorção de nutrientes pelas raízes, pois as mesmas necessitam da respiração aeróbia para suprir a energia utilizada na absorção de nutrientes e, para haver adequada aeração para sua sobrevivência, as raízes necessitam, no geral, de 10% de volume de ar no solo. Um

suprimento ineficiente de oxigênio influencia a absorção dos elementos essenciais (KIRKHAM, 1987).

A compactação também aumenta a interação do íon fosfato e potássio com a superfície dos colóides, o que os leva a ter que se difundir mais próximo das superfícies que os adsorvem (NOVAIS; SMYTH, 1999), enquanto perdas de N por desnitrificação são maiores em solos mais compactados em relação a solos não compactados (DOUGLAS; CRAWFORD, 1993).

Os macroporos, cujo diâmetro está na faixa de 0,05 mm, constituem a rota principal ao crescimento das raízes, de modo que solos mal estruturados podem inibir o pleno desenvolvimento do sistema radicular, já que poucas espécies têm raízes com diâmetro inferior a 0,1 mm, e as raízes jovens, em pleno crescimento, da maioria das plantas são consideravelmente maiores do que esse valor, sendo, portanto, bem maiores do que os macroporos (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

Só é possível ocorrer o alongamento radicular quando a pressão de crescimento das raízes que se alongam for maior do que a resistência da parede celular ou outra resistência externa qualquer, tal como a resistência mecânica do solo à penetração (PASSIOURA, 1991; CAMARGO; ALLEONI, 2006). A resistência por sua vez, é dependente de certas condições atuais do solo, tais como: textura, densidade e teor de água. Sendo assim, em condições de solo mais úmido, os valores da resistência do solo à penetração podem não ser considerados impeditivos para o crescimento de raízes em determinados tipos de solo (ASSIS et al., 2009).

Para avaliar a compactação, a densidade do solo tem sido um atributo indicado e muito utilizado, tendo em vista ser uma medida de caráter quantitativo com razoável sensibilidade e fácil de ser determinada. De maneira geral supõe-se que para um aumento da densidade do solo ou resistência à penetração haverá resposta negativa da planta em termos de crescimento e absorção de nutrientes (CAMARGO; ALLEONI, 1997), porém existem diversos trabalhos que mostram resultados bem contraditórios.

Ishaq et al. (2003), observaram reduções na absorção de N, P e K por plantas de trigo cultivadas em solo compactado, enquanto Andrade; Wolfe e Fereres (1993) não encontrou restrições à absorção de nutrientes em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) em solos compactados.

Piffer e Benez (2005), trabalhando com milheto (*Pennisetum glaucum* L.), amaranto (*Amaranthus Cruentus* L.) e pé de galinha (*Eleusine coracana* L. Gaertn.) em diferentes níveis de densidade do solo (1,21, 1,31, 1,41 e 1,51 kg.dm⁻³) num Latossolo Vermelho,

observaram que o aumento da densidade do solo provocou diminuição da altura da parte aérea e da massa seca radicular de todas as espécies estudadas.

Trabalhando com milho (*Zea mays* L.), em dois tipos de solo e submetidos a três doses de composto orgânico e três níveis de compactação, Rodrigues et al. (2009) verificaram que o aumento da densidade do solo de 1,3 para 1,7 kg.dm⁻³ não foi suficiente para prejudicar o crescimento do milho. Ao contrário, Foloni et al. (2003) observaram redução de aproximadamente 20% na produção de biomassa aérea de plantas de milho quando houve acréscimo nos valores de densidade do solo, variando de 1,28 para 1,69 kg.dm⁻³. Nevens e Reheul (2003) encontraram menores valores de matéria seca e absorção de N por plantas de milho cultivadas em solo compactado.

Centurion et al. (2006), observou que não houve decréscimo significativo na produção de duas cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), trabalhando em casa de vegetação com quatro níveis de densidade do solo (0,93, 1,25, 1,37 e 1,60 kg.dm⁻³) em um Latossolo Vermelho e mantendo o nível de umidade em 80% da capacidade de campo. Porém houve redução na altura, no comprimento de entrenós e no número de vagens por planta.

Trabalhando com capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), e capim piatã (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf.) em casa de vegetação, Bonelli et al. (2011) perceberam que o capim mombaça se mostrou mais tolerante que o capim-piatã aos diferentes níveis de compactação (1,0; 1,2; 1,4 e 1,6 kg.dm⁻³) em um Latossolo Vermelho Amarelo. Os mesmos autores observaram ainda que a absorção do nitrogênio foi a mais limitada, dentre os macronutrientes primários, pela compactação do solo em ambas as culturas.

Medeiros et al. (2005) ao estudarem, em casa de vegetação, a influência de seis níveis de compactação e três teores de água no solo sobre o desenvolvimento radicular e parte aérea e a absorção de N, P e K por plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), constataram que a compactação do solo reduziu a absorção de N, P, K, a produção de massa seca de raízes, o número de perfilhos e a produção de massa seca da parte aérea das plantas de arroz.

Estudos dessa natureza são bem comuns na literatura, porém com relação à cana-de-açúcar são bastante escassos, devendo, de acordo com Chopart et al. (2008) ser determinados em condições de campo.

Existem na literatura alguns valores críticos para os principais parâmetros avaliadores da compactação do solo (densidade do solo e resistência à penetração),

dentre os quais podem ser citados: valores de densidade de 1,70-1,80 kg.dm⁻³ para solos franco arenosos, 1,30-1,40 kg.dm⁻³ para solos argilosos (REICHERT; REINERT e BRAIDA, 2003); resistência à penetração de 2,0 MPa (SILVA; TORMENA; IMHOFF, 2002); 2,0-3,0 MPa (BEUTLER et al., 2006) e 3,0 MPa (KLEIN e CAMARA, 2007) para a cultura da soja, enquanto 1,82 MPa (BEUTLER e CENTURION, 2004) para o arroz. Portanto, percebe-se que os valores críticos dependem do tipo de solo e da cultura em questão, além do teor de água atual no solo.

Para avaliar a susceptibilidade à compactação do solo, uma alternativa possível é a utilização do ensaio de Proctor normal que irá determinar a densidade máxima e a umidade ótima ou umidade crítica. Através da razão entre a densidade atual do solo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de Proctor, é determinado o grau de compactação ou compactação relativa que tem sido utilizado para representar o grau de consolidação dos constituintes do solo (VARGAS, 1977). Esses parâmetros têm sido usados como indicadores de susceptibilidade à compactação do solo e também para permitir comparações diretas entre solos de diferentes tipos e texturas (HAKANSSON; LIPIEC, 2000).

Para Oliveira (2008), logo após as primeiras passadas do implemento sobre o solo ocorre a compactação do solo decorrente da mecanização agrícola. A compactação adicional ocorre apenas com o aumento da carga ou umidade no solo, sendo esse incremento maior, quanto maiores e mais pesado forem os implementos (CAVALIERI et al., 2008).

As partículas de solo se reorganizam de acordo com a carga aplicada e com a água agindo como lubrificante para esse processo. Na curva de compactação de um solo qualquer, a densidade do solo aumenta com o incremento de água no solo até que se alcance o teor de umidade crítico, que corresponde ao ponto de máxima densidade alcançada. Este ponto varia em função da textura de cada solo, e após atingi-lo, a capacidade de compactação diminui visto que o solo encontra-se praticamente saturado e a água é incompressível (RICHARDT et al., 2005).

Dessa forma, o momento ideal para se manejar o solo com implementos seria aquele no qual o solo está na sua condição friável, ou seja, anterior à umidade crítica. Próximo e após este valor de umidade crítica, o uso de implementos pode ocasionar a máxima contração do solo (OLIVEIRA, 2008).

Para a cultura da cana-de-açúcar, o antigo manejo de colheita com queima, utilizado para eliminar o grande volume de matéria seca no dossel da planta está sendo

substituído pelo manejo de cana crua, que é caracterizado pelo uso de máquinas para realizar a colheita. Esse sistema traz maior eficiência e velocidade na operação, diminuindo a poluição do ambiente e de centros urbanos (SPADOTO, 2008), porém pode ocasionar alterações sobre os atributos do solo.

Se por um lado o comportamento das unidades produtoras de cana-de-açúcar vem mudando em relação à busca por alternativas que proporcionem a sustentabilidade do ambiente agrícola e minimização dos custos de produção (SOUZA et al., 2005). Por outro lado, a degradação da qualidade física do solo vem ocorrendo, considerando-se que o tráfego desses equipamentos ocorre de forma repetitiva, fenômeno que se agrava quando o solo é trabalhado com um conteúdo de água elevado, inadequado para as atividades agrícolas (SILVA; CABEDA, 2006).

Outro fator representativo para a compactação do solo na produção sucroalcooleira é a dependência da utilização de veículos pesados como tratores, reboques e caminhões durante a colheita da cana-de-açúcar. Este fato é crucial para o agravamento da compactação do solo, pois é quando o equipamento mais pesado entra em campo (BARZEGAR et al., 2000). Há grande tendência na cultura da cana-de-açúcar do maquinário tornar-se maior e mais pesado, potencializando assim o risco de compactar os solos (RENIUS, 1994; RAPER, 2005) e conseqüentemente acarretar danos à produção.

Apesar de escassos, alguns experimentos de campo foram conduzidos em relação ao crescimento do sistema radicular e produção de cana-de-açúcar em áreas de solo compactado ou sem controle de tráfego, e áreas de solo não compactado (USABORISUT e NIYAMAPA, 2010; OTTO et al., 2011; BANGITA e RAO, 2012; SOUZA et al., 2012) e para todos foi observado efeito prejudicial da compactação sobre os parâmetros de crescimento radicular e produção, sobretudo em cana-soca.

Diante do exposto, percebe-se que a compactação do solo pode ser considerada um dos fatores limitantes para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar. Sendo assim, a produção pode sofrer decréscimos ao longo dos ciclos, gerados por um preparo inadequado do solo, já que a produção das soqueiras está relacionada à produção do corte anterior (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

4. Fitonematoides

Os nematoides são animais pertencentes ao Filo Nematoda, e dentre os multicelulares são os mais abundantes em termos de número de indivíduos no planeta. Estima-se que existam mais de 1 milhão de espécies, porém apenas cerca de 25 mil são descritas. (BLAXTER, 2003; COGHLAN, 2005).

São encontrados nos mais variados habitats, tais como, água, solo, matéria orgânica em decomposição, se alimentando de bactérias, fungos e outros nematoides, e parasitando animais e plantas. No solo, as comunidades de nematoides são constituídas basicamente pelos grupos funcionais bacteriófagos, micófagos, predadores, onívoros e parasitos de plantas (CARES; BLUM; EDNALVA 2006). A sua movimentação no solo depende de fatores como umidade e tamanho de poros, visto que eles se locomovem nos filmes de água entre as partículas (TIHOHOD, 1993).

As características do solo, sobretudo as físicas, podem afetar direta ou indiretamente a composição e estrutura das comunidades de nematoides, e qualquer alteração nessas pode influenciar no seu habitat e cadeia alimentar (DE GOEDE; BONGERS, 1994; YEATES, 1999; NEHER, 1999).

Em regiões de monocultivo os fitonematoides tendem a ser favorecidos (PATTISON et al., 2008). Em termos de prevalência de espécies numa área, a densidade do solo se correlaciona positivamente com os parasitos de plantas, fato que pode estar ligado à porosidade do solo, necessária à troca gasosa e movimentação nos filmes de água indispensáveis aos nematoides de vida livre (JONES; THOMASSON, 1976; DE GOEDE; BONGERS, 1994; BOUWMAN; ARTS, 2000).

Os nematoides fitoparasitos possuem em sua região anterior o estilete, estrutura utilizada para romper a parede da célula hospedeira facilitando a sua alimentação (CARES; BLUM; EDNALVA, 2006). Em decorrência desse parasitismo podem causar danos por efeitos traumáticos (injúria mecânica), tóxicos (toxinas secretadas) e espoliadores (dreno de nutrientes) nas plantas atacadas, comprometendo assim a sua sanidade (FERRAZ; MONTEIRO, 1995).

Os nematoides fitoparasitos estão distribuídos mundialmente e causam prejuízos da ordem de US\$ 80 bilhões/ano na agricultura (AGRIOS, 2005). Neste grupo, espécies do gênero *Meloidogyne* são tidos como os mais importantes para a agricultura mundial dada sua vasta gama de hospedeiros e ampla distribuição mundial (CARNEIRO; ALMEIDA; QUÉNHERVÉ, 2000; FREITAS; OLIVEIRA; FERRAZ, 2004).

Dentre os fitoparasitos, mais de 310 espécies foram assinaladas em associação com a cana-de-açúcar no mundo, sendo as espécies *Pratylenchus zae* (Graham), *Meloidogyne*

javanica (Treb) Chitwood e *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood as mais importantes (CADET; SPAULL, 2005; DINARDO-MIRANDA, 2005). No Brasil, *M. incognita* é a espécie que causa danos mais severos ao canavial (DINARDO-MIRANDA, 2005), sendo encontrado na proporção de 64% contra 36% de *M. javanica* em canaviais da região Nordeste (CHAVES; PEDROSA; MOURA, 2002).

O ciclo de vida de *M. incognita*, de maneira geral, completa-se em 3 a 4 semanas, sendo influenciado por fatores como umidade, planta hospedeira e temperatura (FERRAZ; MONTEIRO, 1995).

Inicialmente o ovo é depositado em massas de ovos ou ootecas, aderidas ao corpo das fêmeas. No ovo, forma-se a forma jovem ou juvenil de primeiro estágio (J1), o qual passa por 4 ecdises até tornar-se adulto. A primeira ecdise ocorre ainda no interior do ovo, de onde eclode a forma J2 que, guiada por exsudados radiculares, migra no solo à busca de alimentação. Ao encontrar a raiz o J2 penetra-a, normalmente por suas extremidades, e com auxílio do estilete move-se intercelularmente até estabelecer seu sítio de alimentação no parênquima vascular. Neste local o J2 fixa-se e induz a formação de células gigantes, as quais irão ser responsáveis pela sua nutrição. Passam por mais três ecdises, tornando-se sucessivamente J3, J4 e adulto. Na sua última ecdise ocorre o dimorfismo sexual, onde as fêmeas apresentam formato de pêra e os machos são serpentiformes. A fêmea permanece sedentária no mesmo local, se nutrindo e depositando ovos, e o macho volta ao solo, onde permanece por mais alguns dias (LORDELLO, 1992; FERRAZ; MONTEIRO, 1995; CARES; BLUM; EDNALVA, 2006).

A patogenia resulta da ação direta desses patógenos sobre a planta hospedeira, onde muitas vezes fatores bióticos e abióticos agravam essa situação (BIRCHFIELD, 1984), sendo as plantas atacadas pelo gênero *Meloidogyne* reduzidas em parte aérea em consequência da redução do volume radicular e sistema vascular desorganizado, o que compromete a absorção e translocação de água e nutrientes na planta (CARNEIRO, 2000).

5. Aplicação da vinhaça na cana-de-açúcar

A vinhaça é o principal resíduo obtido das destilarias de etanol, variando de 10 a 18 litros gerados por litro de etanol produzido, a depender da matéria-prima e da tecnologia utilizada na destilaria (STUPIELLO, 1987; BUZOLIN, 1997; SOBRAL, 1995). Quando

é originada do mosto de melaço, em destilarias anexas nas usinas de açúcar, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, apresentando queda acentuada desses elementos quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas (ROSSETTO, 1987). Considerando a produção de etanol na atual safra brasileira, estima-se uma geração de vinhaça da ordem de 234,9 a 422,82 bilhões de litros (CONAB, 2012).

Apesar de seu alto poder poluente, decorrente da sua riqueza em matéria orgânica, baixo valor de pH, alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), corrosividade e temperaturas elevadas na saída dos destiladores, a alternativa mais viável para o seu descarte é a aplicação racional aos solos cultivados com cana-de-açúcar (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Vários efeitos benéficos da aplicação da vinhaça aos solos cultivados foram constatados, sobretudo sobre suas propriedades físicas e químicas tais como: aumento da capacidade de retenção de água, da porosidade, dos teores de nutrientes e da CTC; aumentos nas atividades biológicas também foram relatados (BALL-COELHO et al., 1983; GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1984; TENÓRIO et al., 2000; LYRA et al., 2003; SILVA; CABEDA, 2005). Entretanto, a depender do tipo de solo e das quantidades aplicadas pode ocorrer lixiviação de íons e contaminação das águas subterrâneas (SILVA, et al., 2007).

Em sua composição química, a vinhaça apresenta teores consideráveis de nutrientes como o cálcio, magnésio, enxofre, nitrogênio e principalmente o potássio, podendo este chegar a valores de 4000 mg.L^{-1} . Para o cálculo da dose de vinhaça a aplicar em determinada área é importante realizar a análise química do solo e da vinhaça, para, com base nos teores de K existentes (elemento predominante na vinhaça) e os necessários à cultura, se chegar ao valor ideal (PRADA; GUEKEZIAN; SUÁREZ-IHA, 1998). Segundo Silva et al. (2007) a capacidade de retenção de íons do solo também deve ser observada antes da aplicação da vinhaça, pois devido ao desbalanceamento existente entre os elementos minerais e orgânicos, pode ocorrer lixiviação de íons como o K^+ e o NO_3^- ao longo do perfil do solo. Cerca de $150 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de vinhaça aplicados adequadamente ao solo equivalem a uma adubação de 61, 343, 108 e $80 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$ de N, K, Ca e S respectivamente (MEDEIROS et al., 2003).

Aumento de produtividade, sobretudo em regiões secas ou com solos arenosos e quimicamente pobres, além da economia de fertilizantes, são benefícios imediatos decorrentes do uso racional desse resíduo nas lavouras canavieiras (SILVA, 1981;

VIEIRA, 1986; COELHO; PEIXOTO; 1986). Resende et al. (2006) verificaram que a aplicação de vinhaça promoveu ganhos de produtividade e produção de açúcar na cultura da cana-de-açúcar a longo prazo, sugerindo sua utilização no processo produtivo.

Por outro lado, o alto teor de matéria orgânica existente na vinhaça, traz melhorias biológicas ao solo quando da sua aplicação. Muitos são os benefícios proporcionados pela incorporação da matéria orgânica ao solo. Há um aumento da população microbiana, como fungos antagonistas aos fitopatógenos, bem como a formação de substâncias tais como ácidos graxos voláteis que podem apresentar ação nematicida (NOVARETTI, 1983; RODRÍGUEZ-KÁBANA; MORGAN-JONES, 1987; KAPLAN et al., 1992).

Em estudo conduzido em casa de vegetação, Cardozo e Araújo (2011) verificaram que a aplicação de vinhaça concentrada na dose de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, não foi eficaz no inibição da reprodução de *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar, enquanto a presença de *Bacillus subtilis* no solo sem adição de vinhaça, reduziu consideravelmente a reprodução dos nematoides. Entretanto, Pedrosa et al, (2005) verificaram efeito inibidor da vinhaça sobre a reprodução de *Meloidogyne* spp. proporcionalmente à dose do resíduo aplicada ao solo.

O emprego de matéria orgânica, através da vinhaça, tem sido preconizado com destacada eficiência como mais uma alternativa para o manejo integrado desses organismos, contribuindo para a redução do uso de produtos químicos e os conseqüentes impactos ao meio ambiente (MOURA, 2000; PEDROSA et al., 2005).

LITERATURA CITADA

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

ALVAREZ, F. C. **El registro agronômico de Clementes y su aplicacion em Venezuela**. Caracas: Ministério da Agricultura y Cria, 1975. 125 p.

ANDRADE, A.; WOLFE, D. W.; FERERES, E. Leaf expansion, photosynthesis, and water relations of sunflower plants grown on compacted soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 149, p. 175-184, 1993.

AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRIOSOSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHOA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248 p.

ARMBRUSTER, D. G. Benefícios do uso de enxofre na cultura da cana-de-açúcar. **Revista STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 6, p. 54-58, 1986.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. Molybdenum an essential element for higher plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 14, p. 599-602, 1939.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 29, p. 558-568, 2009.

BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 1004-1008, 1993.

BANGITA B.; RAO, B. K. R. Impacts of compaction relief treatments on soil physical properties and performance of sugarcane (*Saccharum spp.*) under zonal tillage system. **Geoderma**, Amsterdam, v. 189, p. 351–356, 2012.

BARZEGAR, A. R.; ASOODAR, M. A.; ANSARI, M. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. **Soil and Tillage Research**. v. 57, p. 167-172. 2000

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em Latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1793-1800, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 639-645, 2006.

BIRCHFIELD, W. Nematode parasites of sugarcane. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Plant and insect nematodes**. New York: Marcel Dekker, 1984. v. 1. p. 571-588.

BLAXTER, M. L. Nematoda: genes, genomes and the evolution of parasitism. **Advances in Parasitology**. n. 54, p. 101-195, 2003.

BONATO, C. M.; RUBIN FILHO, C. J.; MELGES, E.; SANTOS, V. D. dos (Eds). **Nutrição mineral de plantas**. Maringá: Universidade Estadual do Maringá, 1998. 58 p. (Apostilha, 01).

BONELLI, E. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; POLIZEL, A. C. Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 264–269, 2011.

BOUWMAN, L. A.; ARTS, W. B. M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 14, p. 213-222. 2000.

BUZOLIN, P. R. S. **Efeitos da palha residual da colheita da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997, 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1997.

CADET, P.; SPAULL, V. W. Nematode parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Eds.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2 ed. Wallingford: CABI International Publishing, 2005, p. 645-674.

CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: FEALQ, 1993. v. 1, 242 p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Efeito da compactação no crescimento de plantas**. 2006. Disponível em:
<http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C5/Index.htm>. Acesso em: 16/12/2011.

CARDOSO, M. O. **Relações entre a nematofauna e o grau de compactação do solo em área cultivada com cana-de-açúcar e em remanescente de floresta atlântica**. 2010, 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

CARDOZO, R. B.; ARAÚJO, F. F. Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.15, n.12, p.1283-1288, 2011.

CARES, J. E.; BLUM, E. B.; EDNALVA, P. A. Nematologia Vegetal: Uma introdução. In: BLUM, E. B.; CARES, J. E.; UESUGI, C. H. (Eds.). **Fitopatologia: o estudo das doenças de plantas**. 1. ed. Brasília: Otimismo, 2006. p. 265.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. QUÉNHERVÉ, P. Enzyme phenotype of *Meloidogyne* spp. populations. **Nematology**, v. 2, p. 645-654, 2000.

CARNEIRO, R. G. **Efeitos de *Meloidogyne incognita* raça 3 e *M. javanica* sobre a absorção e translocação de nitrogênio, fósforo e cálcio e sobre a partição de carbono em cultivares de soja**. 2000, 96 f. Tese (Doutorado em Parasitologia Vegetal)

– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CASTRO, P. R. C. **Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000. 10 p. (CD-ROM 1).

CAVALIERI, C. M. V.; ARVIDSSON, J.; SILVA, A. P.; KELLER, T. Determination of precompression stress from uniaxial compression tests. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, p. 17-26, 2008.

CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; BEUTLER, A. N.; ROSSINI, L. A.; FREDDI, O. S.; NETO, E. L. S. Compactação do solo no desenvolvimento e na produção de cultivares de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, p. 203-209, 2006.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; MOURA, R. M. Efeitos da aplicação de terbufos sobre a densidade populacional de nematóides endoparasitos em cinco variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 167-176, 2002.

CHOPART, J. L.; RODRIGUES, S. R.; AZEVEDO, M. C. B.; CONTI, M. C. Estimating sugarcane root length density through root mapping and orientation modelling. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 313, p. 101–112, 2008.

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, **Anais...** 1986.

COGHLAN, A. Nematode genome evolution. **Conway Institute of Biomolecular and Biomedical Research**, Dublin, p. 1-15, 2005

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **Revista STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, p. 32-36, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento.** Brasília: CONAB, 2012.

Disponível

em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf>. Acesso em: 03 set. 2012.

COSTA, J. P. V. da. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos.** 1998, 67 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

DE GOEDE, R. G. M.; BONGERS, T. Nematode community structure in relation to soil and vegetation characteristics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.1, p. 29-44. 1994.

DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 67, p. 41-64, 2002.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade de cana-de-açúcar em relação a clima e solos da Região Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 23, p. 627-634, 1999.

DILLEWIJN, C. VAN. **Botany of sugarcane.** Waltham: The Chronica Botanica Co., 1952. 371 p.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides em cana-de-açúcar. **Jornal Cana: tecnologia agrícola.** Ribeirão Preto, v. 5, p. 64-67, 2005.

DOUGLAS, J. T.; CRAWFORD, C. E. The response of a ryegrass sward to wheel traffic and applied nitrogen. **Grass Forage Science.** v. 48, p. 91-100, 1993.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. (Eds.). **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. v. 1, 403 p.

- FERRAZ, C. C. B.; MONTEIRO, A. R.; Nematóides. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 168-201.
- FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.
- FRANCO, H. C. J.; BOLONGA, I. R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 669-674, 2007.
- FRANCO, H. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2763-2770, 2008.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. (Eds.). **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. v. 1, 203 p.
- FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. L.; FERRAZ, S. **Introdução a Nematologia**. Viçosa: Editora UFV, 84 p., 1 ed., 2ª reimpressão, 2004 (Caderno didático, 58).
- GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 4, n.15, p. 22-27, 1984.
- GOMES, G. **Engenho e arquitetura**. Recife: Massangana, 2006. 411 p.
- HAKANSSON, I.; LIPIEC J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p.71-85, 2000.

HAKANSSON, 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, 1998. p. 167-179.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. (Eds.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994, p. 45-69 (Developments in Agricultural Engineering, 11).

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; LAL, R. Persistence of subsoil compaction effects on soil properties and growth of wheat and cotton in Pakistan. **Experimental Agriculture**, v.39, p. 341-348, 2003.

JONES, F. G. W.; THOMASSON, A. J. Bulk density as an indicator of pore space in soils usable by nematodes. **Nematologica**, v. 22, p. 133-137. 1976.

KAPLAN, M.; NOE, J. P.; HARTEL, P. G. The role of microbes associated with chicken litter in the suppression of *Meloidogyne arenaria*. **Journal of Nematology**, Gainesville, v. 24, p. 522-527, 1992.

KIRKHAM, M. B. Soil-oxygen and plant-root interaction: an electrical analog study. In: DIEST, A. (Ed.). **Plant and soil: interfaces and interactions**. Wageningen: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p.11-19.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 221-227, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **Revista STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, p. 6-9, 2002.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-

pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LORDELLO, L. G. E. (Ed.). **Nematóides das plantas cultivadas**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 315 p.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 7, p. 525-532, 2003.

MALAVOLTA, E. (Ed.). **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2006. v. 1, 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 3. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 940-947, 2005.

MEDEIROS, S. C. L.; RIBEIRO, S. R.; CONEGLIAN, C. M. R.; BARROS, R. M.; BRITO, N. N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3., 2003, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: UNICAMP, 2003.

MOURA, R. M. Controle integrado dos nematóides da cana-de-açúcar no nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 22., 2000, Uberlândia. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2000. p. 88-94.

NEHER, D. A. Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. **Journal of Nematology**, v. 31, p. 142-154. 1999.

- NEVENS, F., REHEUL, D. The consequences of wheel-induced soil compaction and subsoiling for silage maize on a sandy loam soil in Belgium. **Soil and Tillage Research**, v. 70, p. 175-184, 2003.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.
- NOVARETTI, W. R. T. **Nematóides parasitos da cana-de-açúcar e seu controle**. Jaú: COPERSUCAR, 1983. 6 p. (Boletim Técnico).
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRA, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, p. 579-588, 2011.
- OLIVEIRA, V. S. **Compactação em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. 2008, 81 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2008.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Doses de fracionamento de nitrogênio e potássio em solo arenoso em primeiro cultivo. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6., Maceió, 1996. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 517-520.
- OTTO R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 201–210, 2011.
- PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.29, p. 717-728, 1991.
- PATTISON, A. B.; MOODY, P. W.; BADCOCK, K. A.; SMITH, L. J.; ARMOUR, J. A.; RASIAH, V.; COBON, J. A.; GULINO, L. M.; MYER, R. Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 40, p. 155-164. 2008.

- PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; ALBUQUERQUE, P. H. S.; CUNHA, A. C. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, Suplemento, p. 197-201, 2005.
- PEDROTTI, A.; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A. Absorção de nutrientes em diferentes níveis de compactação de um Planossolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 1994. p. 302-304.
- PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H. Desenvolvimento do sistema radicular de amaranto, milho e pé de galinha em diferentes níveis de compactação. **Energia Agrícola**, Botucatu, v. 20, p. 50-62, 2005.
- PRADA, S. M.; GUEKEZIAN, M.; SUÁREZ-IHA, M. E. V. Metodologia analítica para determinação de sulfato em vinhoto. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, p. 249-252. 1998.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.
- RAIJ, B. V. (Ed.). **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo/Piracicaba: Ceres/POTAFÒS, 1991. 343 p.
- RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**. v. 42, p. 259-280, 2005.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Condições físicas de solos associadas à sua qualidade e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.
- RENIUS, K. T. Trends in tractor design with particular reference to Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 57, p. 3-22. 1994.

RESENDE, A. S.; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.937-941, 2006.

RICHARDT, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FUENTES LLANILLO, R.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, p. 321-344, 2005.

RODRIGUES, P. N. F.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S. Crescimento e composição mineral do milho em função da compactação do solo e da aplicação de composto orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.94-99, 2009.

RODRÍGUEZ-KABANA, R.; MORGAN-JONES, G.; CHET, I. Biological control of nematodes soil amendments and microbial antagonists. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 100, p. 237-247, 1987.

ROSA, G. R. da. (Ed.) **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2005**. 1. ed. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136 p.

ROSSETTO, A. J. Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L. L. D.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 219-238.

SALDANHA, E. C. M.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. Acumulação de cálcio, magnésio e potássio na cana soca. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFRPE. 2., Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2002. CD-ROM 1.

- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 921-930, 2006.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista brasileira engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108-114, 2007.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Eds.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002, p.1-18.
- SILVA, G. M. A. Tratamento e utilização agroindustrial da vinhaça, Um novo enfoque. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 1981.
- 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.
- SILVEIRA, J. A. G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. 1985, 152 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- SOBRAL, E. A. (Ed.). **Cultura da Cana-de-açúcar**. Recife: UFRPE, 1995. 73 p.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA. **Glossary of soil science terms**. SSSA. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1996.
- SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem

controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 603-612, 2012.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 271-278, 2005.

SPADOTO, A. F. **Desenvolvimento de programa computacional aplicado ao empacotamento do palhiço de cana-de-açúcar**. 2008, 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Botucatu, 2008.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: I. Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 207-212, 2002.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS; S.R. (Ed.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 2, p. 761-804, 1987.

TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração e exportação de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. **Revista STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, p. 38-42, 2007.

TENÓRIO, Z.; CARVALHO, O. S.; SILVA, O. R. R. F.; MONTES, J. M. G.; LOPEZ, F. G. Estudio de la actividade biológica de los solos costeros del NE de Brasil enmendados com resíduos agrícolas: vinaza y torta de caña de azúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 4, p. 70-74, 2000.

TIHODOD, D. (ED.). **Nematologia Agrícola Aplicada**, 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 372 p.

USABORISUT P.; NIYAMAPA, T. Effects of Machine-Induced Soil Compaction on Growth and Yield of Sugarcane. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 3, p. 269-273, 2010.

VARGAS, M. (Ed.). **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil Ltda, 1977. 509 p.

VIAN, C. E. F.; PAVANI, A. A.; HANASHIRO, M. M.; OLIVEIRA, D. R. M. S.; SOUZA, M. I. F.; MARIN, F. R. Análise da expansão da agroindústria canavieira no Centro-Sul do Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 24, p.11-38, 2007.

VIEIRA, D. B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, v. 6.1986.

WALE, D. W.; PRADO, R. M.; AVALHÃES, C. C.; HOJO, R. H. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 6, p.189-196, 2011.

YEATES, G. W. Effects of plants on nematode community structure. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 37, p. 127-149. 1999.

Interação compactação do solo × nematoide no desenvolvimento inicial e nutrição mineral da cana-de-açúcar

Resumo

O presente estudo avaliou os efeitos da interação entre a compactação do solo e o parasitismo de *Meloidogyne incognita* sobre os teores de macronutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar, desenvolvimento inicial da cultura e multiplicação dos nematoides. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 (variedades: RB962962 e RB863129) × 2 (presença e ausência de nematoides) × 3 (densidades do solo: 1,5, 1,6 e 1,7 g.cm⁻³). Após 15 dias da brotação, as mudas foram transplantadas para os vasos definitivos e inoculadas com aproximadamente 5 ovos de *M. incognita* por cm³ de solo (78000 ovos/planta). Após 95 dias da inoculação, as plantas foram colhidas e avaliado o desenvolvimento das plantas, teores de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea e reprodução dos nematoides. Para as duas variedades houve redução na altura e peso do colmo e aumento nos teores de Ca e Mg da parte aérea, quando na densidade de 1,7 g.cm⁻³, e redução no teor de K quando parasitadas. RB962962 foi mais tolerante à compactação do solo apresentando incremento em peso e área foliares.

Palavras-chave: Densidade do solo; macronutriente, *Meloidogyne incognita*, *Saccharum*

Abstract

Soil compactness × nematode interaction on sugarcane initial development and mineral nutrition

The present study evaluate effects of soil compactness and *Meloidogyne incognita* parasitism interaction on macronutrient contents in shoots, sugarcane initial development and nematode reproduction. The experiment was carried out under greenhouse in a completely randomized design in a 2 (sugarcane varieties: RB962962 and RB863129) × 2 (presence and absence of nematode) × 3 (soil density: 1.5, 1.6 and

1.7 g.cm⁻³) factorial arrangement. Fifteen days after sprouting seedlings were moved to vases and inoculated with approximately 5 *M. incognita* eggs per cm³ of soil (78000 eggs per plant). After 95 days from inoculation, plants were harvest and it was evaluated plant development, N, P, K, Ca, Mg and S content in shoots and nematode reproduction. For both varieties at 1.7 g.cm⁻³ soil density there was reduction in plant height and weight and increase in Ca and Mg content in shoots, but there was decrease in K content of parasited plant shoots. Soil compactness increased weight and leaf area of RB962962.

Key words: Soil density, macronutrient, *Meloidogyne incognita*, *Saccharum*

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, desde sua introdução no Brasil, merece destaque como atividade agrícola de alta expressão sócio-econômica para o comércio interno e externo. O Brasil é o maior produtor mundial dessa cultura, que se encontra em expansão no território nacional (CONAB, 2012).

Para colheita, há séculos que a prática da queima da área ao final do ciclo é utilizada para facilitar os processos de corte manual, transporte e processamento dos colmos. Porém, devido a fatores econômicos, sociais e ambientais, essa prática vem sendo substituída pela colheita mecanizada, na qual a cana é colhida sem queima e os resíduos deixados sobre solo (Galdos et al., 2009).

Em decorrência desse maior tráfego de veículos pesados ocorre degradação da qualidade física do solo, expressa, entre outros fatores, por aumentos na densidade do solo e resistência à penetração das raízes e diminuição da porosidade total e macroporosidade (Klein et al., 1998). O processo de compactação se agrava quando o solo é trabalhado com teor de água inadequado (Silva & Cabeda, 2006).

Para adequado desenvolvimento, os vegetais necessitam que o solo apresente condições favoráveis ao crescimento das raízes. Dessa forma, maiores volumes de solo e camadas mais profundas serão explorados, possibilitando acesso à água, nutrientes e oxigênio, refletindo em produções satisfatórias (Braunack et al., 2006; Collares et al., 2008; Kaiser et al., 2009).

Avaliando os efeitos da compactação sobre o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, em três tipos de solo, Corrêa et al. (1999) verificaram que independentemente

do tipo de solo, a produção de matéria seca radicular e da parte aérea foram diminuídas. Esse fato pode ainda ser agravado, pois as produções subsequentes da soqueira dependem do ciclo anterior, e com o intenso tráfego de maquinário, o solo deverá sofrer compactações adicionais (Camargo & Alleoni, 1997; Pacheco & Cantalice, 2011).

Outro fator que influencia a produtividade da cana-de-açúcar são as doenças causadas por nematoides, especialmente *Meloidogyne incognita*, a espécie que causa danos mais severos aos canaviais brasileiros (Dinardo-Miranda, 2005). Nematoides parasitos de planta danificam o sistema radicular das plantas, comprometendo a absorção de água e nutrientes e, por fim, o desenvolvimento da cultura. Também comprometem a utilização de áreas infestadas para novos cultivos, tornando antieconômica a exploração de culturas em determinadas áreas (Dinardo-Miranda & Menegatti, 2003).

O objetivo desse estudo foi avaliar em casa de vegetação os efeitos da interação entre a compactação do solo e o parasitismo de nematoides, sobre o desenvolvimento inicial e a nutrição de duas variedades de cana-de-açúcar, bem como os efeitos da densidade do solo sobre a multiplicação dos nematoides.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de março a junho de 2012 em casa de vegetação no Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE, cujas coordenadas geográficas são: 8° 01' 05" de latitude sul, 34° 56' 48" de longitude oeste e altitude de 4 m.

A temperatura no interior da casa de vegetação variou de 25 a 38 °C durante o período do experimento. O solo utilizado foi coletado na camada de 0-30 cm em área cultivada com cana de açúcar na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina da UFRPE, localizada no município de Carpina, PE, sendo classificado como Argissolo Amarelo distrófico (Embrapa, 2009).

Para caracterização do solo foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas: densidade aparente através do método do anel volumétrico; densidade das partículas através do método do balão volumétrico; composição granulométrica através do método do densímetro; e argila dispersa em água; pH em água (1:2,5); teores de P, Na, K, Ca, Mg e Al (Embrapa, 1997). Também foi realizado o ensaio de Proctor Normal para

determinação da densidade máxima do solo (g.cm^{-3}) em função da umidade crítica (g/g) (ABNT/NBR 7182, 1986). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização física e química do solo utilizado no experimento

AG	AF	S	A	Clas. Tex.	DS	DP	PT	GF	DM	UC
	(g.kg^{-1})			Franco arenoso	(g.cm^{-3})		$(\text{cm}^3.\text{cm}^{-3})$	(g.100g)	(g.cm^{-3})	(g.g^{-1})
587	214	89	110		1,51	2,84	47	59	1,95	0,097
pH	MO	P	Na^+	K^+	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$		Ca^{2+}	Al^{3+}		
água (1:2,5)	(g.kg^{-1})		(mg.dm^{-3})		$(\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3})$					
5,8	29,2	46	0,41	0,17	4,07	2,25	0,05			

AG: areia grossa; AF: areia fina; S: silte; A: argila; Clas Tex: classificação textural; DS: densidade do solo; DP: densidade das partículas; PT: porosidade total; GF: grau de flocculação; DM: densidade máxima; UC: umidade crítica; MO: matéria orgânica; P: fósforo.

Para condução do experimento, o solo foi fertilizado de acordo com as recomendações de fertilizantes para a cultura da cana-de-açúcar (Cavalcanti, 2008). Tomando por base o volume de $16,5 \text{ dm}^3$ de solo existente em cada vaso, foram aplicados, por vaso, 2,5g de fertilizante mineral na formulação 10:10:10, o qual era constituído da mistura de uréia, cloreto de potássio e superfosfato simples. Dessa forma foram adicionados, por vaso, 0,25 g de N, P_2O_5 e K_2O , equivalente a doses de 30 kg.ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente.

A partir da densidade do solo encontrada no campo foram estabelecidos três níveis de compactação: C1, C2 e C3 – correspondendo às densidades do solo de 1,5, 1,6 e $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente. Para obtenção da compactação desejada, primeiramente o vaso, com capacidade de 20 L, foi dividido em oito camadas de 3 cm de espessura e uma superior de 5 cm de espessura. Para todas as oito camadas foi calculada a massa de solo seco necessária para se preencher os respectivos volumes obtendo-se as densidades desejadas; de posse dos valores de massa de solo seco necessários por camada, o solo foi então umedecido até se chegar a um teor de água desejado para facilitar o processo de compactação (8% em base de massa). As novas massas de solo úmido foram então calculadas por camada e acomodadas no vaso com golpes de um malho de madeira até serem alcançadas as alturas de 3 cm, caracterizando então os níveis de densidade do solo estabelecidos ($1,5, 1,6, \text{ e } 1,7 \text{ g.cm}^{-3}$). Na camada superior de 5 cm de todos os vasos, o solo foi colocado solto, de maneira a acomodar as mudas após o transplântio.

Após o processo de compactação, os vasos foram dispostos em recipiente com água, onde foram saturados por meio de fluxo ascendente para se chegar à capacidade de campo e evitar caminhos preferenciais da água no solo. Os vasos foram dispostos em

bancadas na casa de vegetação nos quais duas variedades de cana de açúcar: RB962962 e RB863129 (V1 e V2) foram cultivadas sob dois níveis de inoculação com *M. incognita*: plantas inoculadas (N1) e não inoculadas (N0).

Paralelamente ao enchimento dos vasos, mudas de cana-de-açúcar foram obtidas a partir de rebolos com gema única de aproximadamente 5 cm, obtidos do terço superior dos colmos. Estes rebolos foram plantados em copos plásticos de 500 mL contendo uma camada de 5 cm de solo esterilizado, nos quais as gemas foram posicionadas para cima e cobertas com uma fina camada de solo, necessária apenas para impedir que alguma parte do rebolo ficasse exposta. Após 15 dias da brotação, as mudas foram selecionadas e transplantadas juntamente com o torrão de solo para os vasos definitivos.

A inoculação das mudas foi feita imediatamente após o transplante, com uma suspensão de ovos de *M. incognita*, na densidade aproximada de 5 ovos de *M. incognita* por cm³ de solo (78000 ovos/planta). A suspensão foi obtida de acordo com a técnica descrita por Hussey e Barker (1973), sendo o inóculo extraído de populações de *M. incognita* provenientes de cana-de-açúcar no campo e mantidas em casa de vegetação em plantas de pimentão (*Capsicum annum*). A suspensão foi depositada ao redor da muda em três furos equidistantes no solo para aumentar as chances do contato entre raízes e nematoides.

A umidade do solo durante o experimento foi controlada diariamente por meio de pesagem dos vasos e reposição da água evapotranspirada, mantendo-se o teor de água entre 70-80% da capacidade de pote. Para o cálculo da umidade, o conjunto (solo e vaso) era saturado por fluxo ascendente, sendo depois colocado para drenar livremente com a superfície coberta por plástico. Quando a drenagem cessava, o conjunto era pesado, e o peso do conjunto seco subtraído, obtendo-se o volume máximo de água armazenado. Assim, a reposição diária visava manter o nível de umidade do solo próximo ao desejado.

Ao final do experimento, 95 dias após a inoculação das plantas, foi realizada a medição da altura e diâmetro do colmo de todas as plantas. Para a medição da altura, com auxílio de uma trena tomou-se a medida do colo da planta até o colarinho da folha +1 de acordo com o Sistema Kuijper (Van Dillewijn, 1952), que é a primeira folha de cima para baixo com o colarinho visível. O diâmetro foi medido com auxílio de um paquímetro a cerca de 5 cm do nível do solo. A área foliar para cada planta foi determinada de acordo com a fórmula proposta por Hermann & Câmara (1999): $Af = C \times L \times 0,75 \times (N+2)$; onde: Af – Área foliar (cm²); C – Comprimento da folha +3 (cm); L

– Largura da folha +3 (cm); 0,75 – Fator de forma da folha; N – Número de folhas, a partir da folha 0, com pelo menos 20% de área verde.

As plantas foram então colhidas, sendo realizado um corte rente ao solo. A parte aérea foi separada em folhas e colmos, os quais foram pesados para obtenção do peso fresco. Foram consideradas folhas: o ponteiro (toda a biomassa acima da folha +1) e todo o limbo foliar e bainhas das folhas verdes até a folha +1; o restante foi considerado colmo. As raízes foram separadas do solo com auxílio de água e então pesadas para obtenção do peso fresco. Posteriormente, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar regulada a 65 °C até obtenção de peso constante, para obtenção do peso seco.

Antes da secagem, as raízes foram fragmentadas em pequenos pedaços de 2 cm, homogeneizadas e cada parcela dividida em duas partes iguais. Uma parte foi utilizada para determinação do peso seco e a outra foi utilizada para extração de ovos do nematoide de acordo com Hussey & Barker (1973), possibilitando a determinação do número de ovos por planta, o número de ovos por grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide (relação entre a densidade final de ovos e número de ovos inoculado). Para o peso seco das raízes e número de ovos, os resultados obtidos foram multiplicados por dois.

Toda a biomassa seca da parte aérea foi moída em moinho do tipo Willey, sendo o material obtido acondicionado em recipiente hermeticamente fechado. Os teores de macronutrientes na parte aérea foram determinados segundo a metodologia apresentada por Bezerra Neto & Barreto (2011). Para o Nitrogênio, foi realizada a digestão sulfúrica seguida de destilação em destilador do tipo Kjeldahl e titulação com Ácido Sulfúrico. Para os demais macronutrientes foi realizada a digestão nitro-perclórica, sendo o Fósforo determinado pelo método colorimétrico do Molibdo-vanadato, o Potássio por fotometria de chama, o Enxofre pelo Método turbidimétrico do Sulfato de Bário, e o Cálcio e Magnésio, ambos por Espectrofotometria de absorção atômica.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 3 (níveis de compactação do solo) x 2 (variedades) x 2 (plantas inoculadas e não inoculadas) com 4 repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, quando necessário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre variedade \times nematoide \times compactação para nenhuma variável biométrica avaliada. Em relação às interações de primeira ordem, apenas as variáveis área foliar, peso fresco e peso seco das folhas apresentaram interação significativa ($P \leq 0,05$) entre variedade \times compactação (Tabela 2). Considerando os efeitos das variáveis isoladamente, a altura das plantas RB962962 (108,03 cm) foi significativamente maior do que a RB863129 (97,75 cm). Essa diferença pode ser justificada pela velocidade de crescimento dos genótipos (Daros et al., 2010). Em relação aos níveis de compactação, independentemente da variedade, não houve diferença significativa entre as plantas que cresceram nos níveis C1 e C2 (108,69 e 105,85 cm, respectivamente), porém estas diferiram em relação ao nível C3 que apresentou média de 91,19 cm. Quanto ao diâmetro, isoladamente houve diferença significativa entre as variedades, com médias de 1,66 cm e 1,56 cm da RB863129 e RB962962, respectivamente.

Tabela 2. Resumo da ANOVA para as variáveis biométricas avaliadas ao final do experimento

Fonte de Variação	Valores de F											
	GL	A	D	AF	PFC	PF	PFPA	PFR	PSC	PSF	PSPA	PSR
Var	1	25,30**	7,82**	32,22**	1,16ns	2,73ns	0,20ns	13,38**	5,96*	2,03ns	0,67ns	10,43**
Nem	1	0,03ns	0,72ns	0,01ns	0,02ns	3,25ns	0,13ns	6,03*	0,43ns	1,21ns	0,93ns	14,90**
Com	2	19,83**	0,46ns	3,08ns	4,93*	2,61ns	3,15ns	1,10ns	16,39**	1,96ns	4,60*	1,76ns
Var X Nem	1	0,17ns	1,20ns	0,18ns	0,01ns	0,28ns	0,01ns	0,44ns	1,23ns	0,74ns	1,27ns	1,91ns
Var X Com	2	1,22ns	0,63ns	5,84**	0,02ns	9,42**	0,72ns	0,21ns	0,65ns	7,18**	1,41ns	1,65ns
Nem X Com	2	0,54ns	0,72ns	0,35ns	0,29ns	1,05ns	0,29ns	1,04ns	0,07ns	0,69ns	0,22ns	1,24ns
VarX NemX Com	2	0,50ns	0,31ns	0,07ns	0,11ns	0,09ns	0,12ns	1,68ns	0,04ns	0,05ns	0,04ns	0,23ns

**, *: Significativo a 1% e a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ns: Não significativo de acordo com o teste F. Var: Variedades; Nem: Nematoides; Com: Compactação; GL: Graus de Liberdade; A: Altura; D: Diâmetro; AF: Área Foliar; PFC: Peso Fresco do Colmo; PF: Peso Fresco das Folhas; PFPA: Peso Fresco da parte Aérea; PFR: Peso Fresco da Raiz; PSC: Peso Seco do Colmo; PSF: Peso Seco das Folhas; PSPA: Peso Seco da parte Aérea; PSR: Peso Seco.

As variedades também diferiram em relação à área foliar. A RB863129 apresentou 5437,77 cm² de área foliar enquanto a RB962962 obteve 4495,45 cm². Os fatores variedade e compactação interagiram exercendo influência sobre essa variável (Figura 1A). A RB962962 apresentou aumento de área foliar à medida que aumentou a densidade do solo, com incremento de 19,56% entre os níveis C1 e C3. Inicialmente com valor de área foliar superior a RB962962, a RB863129 apresentou um pequeno acréscimo e posterior decréscimo no valor desta variável, igualando-se a RB962962 no nível C3.

Em relação às variáveis peso fresco e seco das folhas, também foi observada interação entre variedade e compactação (Figuras 1B e 1C). O nível de compactação exerceu influência sobre o peso fresco e seco das folhas da RB962962, que apresentou respectivamente, para essas variáveis, acréscimos de 29,28 e 24,43%, do nível C1 para o C3. A RB863129 não exibiu alterações significativas destas variáveis em resposta ao aumento da densidade do solo nos níveis estudados. No nível C3, a RB962962 produziu mais massa foliar que a RB863129, com valores 16,41 e 13,62% maiores em relação ao peso fresco e seco das folhas, respectivamente. Como apenas a densidade do solo era o fator limitante, o aumento em área e peso foliares demonstrado pela RB962962 parece ter sido uma estratégia da variedade para aumentar a captação de luz e conseqüentemente a produção de fotoassimilados. Dessa forma, a demanda do sistema radicular era suprida, havendo recursos para vencer o impedimento físico do solo.

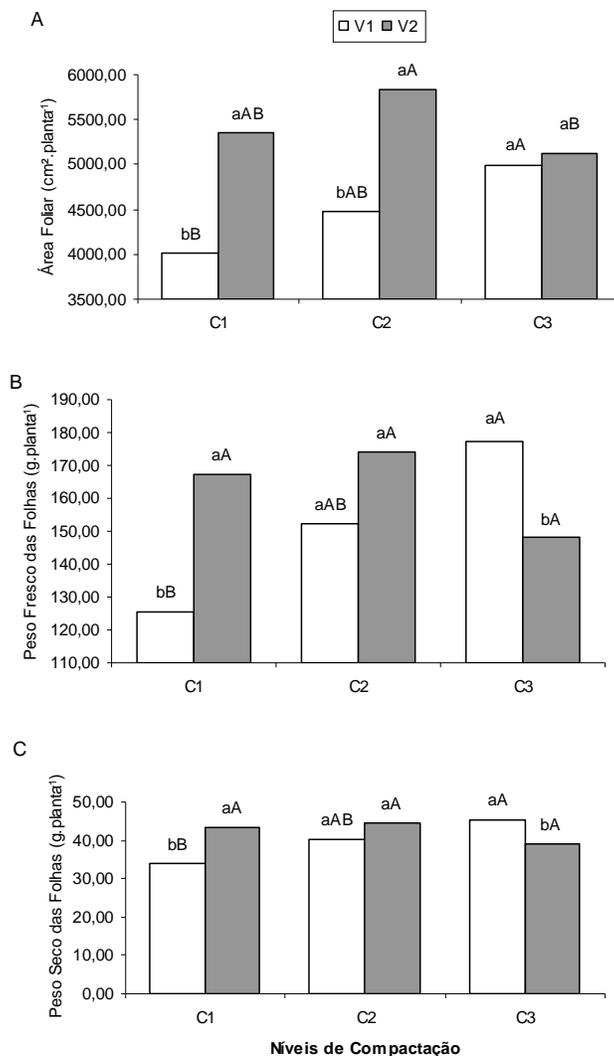


Figura 1. Área foliar (A), Peso fresco das folhas (B) e Peso seco das folhas (C) de plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de compactação e das variedades. Médias seguidas de mesma letra minúscula entre variedades e maiúscula entre níveis de compactação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O peso fresco do colmo das duas variedades foi influenciado significativamente pelo aumento da compactação do solo, havendo redução de 24,63% do nível C2 para o C3, com médias 312,37 e 235,44 g, respectivamente. No nível C1, o peso fresco dos colmos apresentou um valor intermediário de 294,14 g, não diferindo estatisticamente dos demais níveis.

Também foram observados efeitos isolados significativos dos fatores variedade e compactação sobre o peso seco do colmo. A RB962962 acumulou mais matéria seca nos colmos do que a RB863129 (46,08 e 40,92 g, respectivamente). Em relação aos níveis de compactação, não houve diferença significativa entre C1 e C2 (Figura 2),

porém ocorreu redução de 28,9% no peso seco dos colmos com o aumento da densidade de C1 para C3.

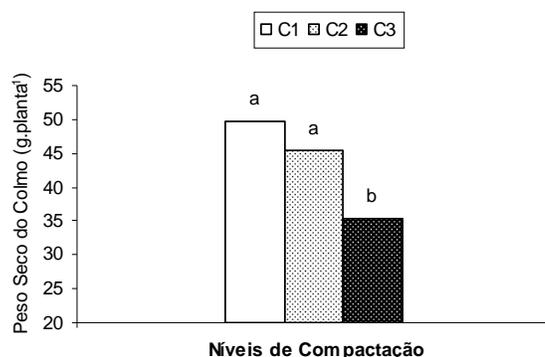


Figura 2. Peso seco do colmo de plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de compactação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O peso fresco da parte aérea (somatório dos pesos do colmo e folhas) não sofreu influência dos fatores estudados, embora o peso seco da parte aérea tenha sido afetado pela compactação. Para essa variável, as plantas apresentaram pesos médios da parte aérea de 88,42 e 87,94 g nos níveis C1 e C2, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. No nível C3 houve redução significativa do peso seco da parte aérea, com valor médio de 77,36 g. Estes resultados estão de acordo com Corrêa et al. (1999), que ao aumentar o grau de compactação do solo, verificaram redução de 17,7 e 20% no rendimento de matéria seca da parte aérea em variedades de cana-de-açúcar em dois tipos de solo. Calonego et al. (2011) não encontrou diferença na produção de matéria seca da parte aérea em plantas de sorgo e braquiária com o incremento de 30% na densidade do solo de um Argissolo, reforçando a existência de variabilidade na resposta de diferentes espécies vegetais ao impedimento físico do solo.

Com relação ao peso fresco e seco das raízes, variedade e nematoide exerceram efeitos significativos isolados sobre essas variáveis. A RB962962 apresentou maior peso fresco da biomassa radicular do que RB863129 (139,9 e 110,94 g, respectivamente). O efeito dos nematoides também foi significativo sobre essa variável, reduzindo de 135,14 para 115,7 g o peso fresco das raízes das plantas. Em relação à matéria seca, o efeito dos nematoides foi maior que a diferença genética existente, pois apesar da diferença significativa entre os pesos secos das raízes das duas variedades (25,73 e 17,31 g, para a RB962962 e a RB863129, respectivamente), os nematoides promoveram redução de 37,87% nessa variável, onde as plantas não inoculadas

apresentaram média de 26,56 g e as inoculadas, 16,5 g. O efeito do parasitismo de *Meloidogyne* spp. sobre o peso do sistema radicular da hospedeira é controverso. Existem relatos que apontam aumentos do sistema radicular decorrentes da formação de galhas e engrossamentos causados pelo nematoide, bem como a emissão de novas raízes secundárias no início da infecção. Entretanto essa reação pode ser de diminuição do peso radicular em virtude das necroses e morte das raízes infestadas (Dinardo-Miranda et al., 2003; Rocha et al., 2008).

Concordando com Rosolem et al. (1994) e Foloni et al. (2003), a compactação não influenciou o peso seco das raízes. Segundo os autores, a presença de camada compactada em subsuperfície altera a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo, mas não a produção total de raízes. A variedade RB962962 pareceu ser mais vigorosa que a RB863129 nas condições do experimento, pois apresentou maior altura, maior acúmulo de matéria seca no colmo e nas raízes, além de responder à compactação do solo com incremento na produção de folhas.

Em relação aos teores de macronutrientes na parte aérea das plantas (Tabela 3), houve efeito significativo da variedade sobre os teores de Mg e S, enquanto os nematoides isoladamente influenciaram apenas o teor de K nas plantas. Os teores de Ca e Mg foram afetados significativamente pela compactação. Houve interação entre variedade e nematoide para os teores de N e S. Por outro lado a interação entre variedade e compactação afetou significativamente os teores de Ca e Mg, enquanto o teor de P foi influenciado pela interação entre nematoide e compactação.

Tabela 3. Resumo da ANOVA para os teores de macronutrientes na parte aérea das plantas

Fonte de Variação	Valores de F						
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Var	1	0,45ns	1,24ns	0,00ns	0,73ns	9,48**	16,01**
Nem	1	3,10ns	2,47ns	13,61**	1,32ns	0,05ns	0,19ns
Com	2	1,21ns	2,46ns	2,63ns	14,68**	9,43**	2,43ns
Var X Nem	1	7,71**	0,26ns	0,31ns	2,06ns	0,04ns	4,65*
Var X Com	2	0,53ns	0,88ns	0,20ns	5,41**	8,01**	1,69ns
Nem X Com	2	1,10ns	7,53**	2,85ns	0,87ns	0,26ns	0,59ns
Var X Nem X Com	2	0,40ns	0,46ns	1,29ns	0,72ns	0,77ns	0,13ns

** , * : Significativo a 1% e a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ns: Não significativo de acordo com o teste F. Var: Variedades; Nem: Nematoides; Com: Compactação; GL: Graus de Liberdade; N: Teor de Nitrogênio na Parte Aérea; P: Teor de Fósforo na Parte Aérea; K: Teor de Potássio na Parte Aérea; Ca: Teor de Cálcio na Parte Aérea; Mg: Teor de Magnésio na Parte Aérea; S: Teor de Enxofre na Parte Aérea.

As duas variedades apresentaram valores de N na parte aérea estatisticamente iguais na ausência de nematoides, porém quando submetidas à inoculação, apenas a RB863129

respondeu significativamente ao teor de N na parte aérea, com redução de 19,58% (Figura 3A). Redução no teor de N na parte aérea de cana-de-açúcar parasitada também foi encontrada por Pedrosa (1989). Em todos os tratamentos o teor de N foi inferior ao nível adequado para a cultura que é de 16 g.kg⁻¹ (Cavalcanti, 2008).

A RB962962 apresentou 1,89 g.kg⁻¹ de S na parte aérea, enquanto a RB863129 foi significativamente superior (2,37 g.kg⁻¹). Considerando o efeito da interação variedade × nematoide, a RB863129 mostrou acréscimo, enquanto a RB962962 decréscimo, no teor de S na parte aérea, quando inoculadas. Na presença do nematoide, a RB863129 apresentou concentração 30,24% maior que a RB962962 para o S na parte aérea (Figura 3B), estando esse nutriente em nível abaixo de 2,0 g.kg⁻¹, considerado ideal à cultura (Cavalcanti, 2008). Cofcewicz et al. (2004) encontrou acréscimo no teor de S das folhas de bananeira parasitadas por *M. incognita*.

Carneiro et al. (2002) ao estudarem os efeitos do parasitismo de *M. incognita* e *M. javanica* em plantas de soja, concluíram que os nematoides interferem na absorção e translocação de N, P e Ca.

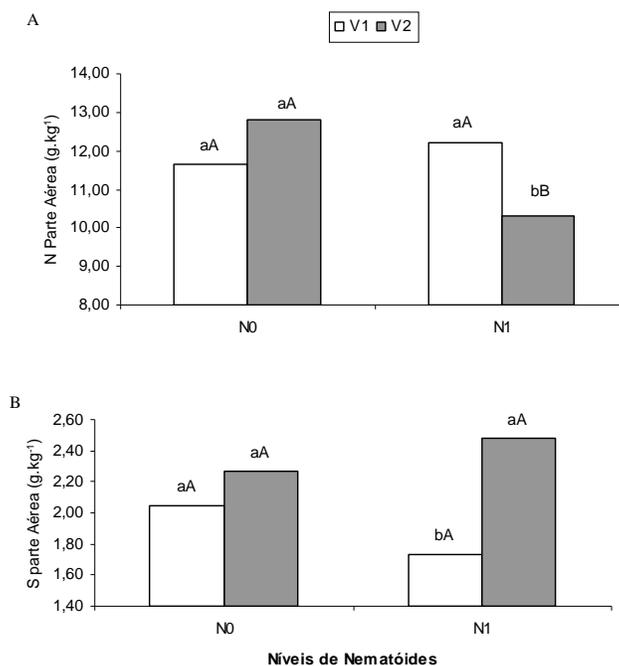


Figura 3. Teor de N (A) e de S (B) na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de nematoides e das variedades. Médias seguidas de mesma letra minúscula entre variedades e maiúscula entre níveis de nematoides, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O comportamento do P na parte aérea foi semelhante nas duas variedades (Figura 4). As plantas não inoculadas apresentaram teores superiores desse elemento em relação às

inoculadas nos níveis C1 e C2, porém no nível C3, as plantas inoculadas apresentaram média superior às plantas não inoculadas (2,12 g.kg⁻¹ de P na parte aérea). Por outro lado, nas plantas sem nematoides, não houve efeito significativo dos níveis de compactação sobre o teor de P.

O aumento no teor de P de 12,73%, decorrente da interação entre as plantas inoculadas no nível C3 pode ser explicado pela ação conjunta entre os efeitos iniciais do parasitismo e o aumento do contato solo-raiz. Segundo Seinhorst (1965), um dos efeitos iniciais do parasitismo por nematoides sedentários é a formação de novas raízes em resposta à infecção ocorrida. Este fato aliado ao maior contato solo-raiz provocado pela compactação pode ter facilitado a absorção de P pela planta, já que se trata de um elemento pouco móvel no solo, pois se move por difusão (Malavolta, 2006). Em todos os casos o P esteve acima do nível ideal à cultura de 1,2 g.kg⁻¹ (Cavalcanti, 2008).

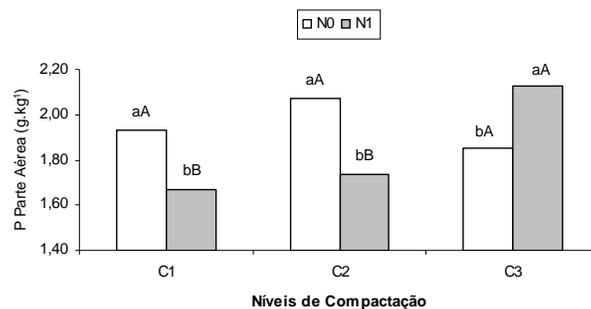


Figura 4. Teor de P na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de compactação e de nematoides. Médias seguidas de mesma letra, minúscula entre nematoides e maiúscula entre níveis de compactação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A presença do nematoide reduziu 13,41% o teor de K na parte aérea das plantas, independentemente da variedade considerada (Figura 5). As plantas sem nematoide apresentaram 10,81 g.kg⁻¹ de K na parte aérea, enquanto as inoculadas 9,36 g.kg⁻¹. Redução nos teores foliares de K em bananeiras parasitadas por *Meloidogyne* spp. foram relatados por Cofcewicz et al. (2004), enquanto que Gomes et al. (2008) encontraram deficiência deste nutriente nas folhas de goiabeira quando parasitadas por *M. mayaguensis*. Em ambos os casos o teor encontrado foi abaixo de 12 g.kg⁻¹, ideal à cultura da cana-de-açúcar (Cavalcanti, 2008).

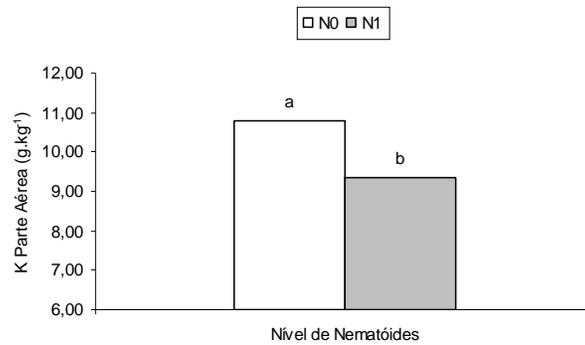


Figura 5. Teor de K na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de nematóides. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A interação variedade \times compactação mostra que a RB863129 não foi afetada pelos níveis de compactação quanto ao teor de Ca na parte aérea, enquanto a RB962962 apresenta aumento de Ca à medida que o nível aumenta de C1 para C3, inclusive superando significativamente a RB863129 neste último nível (Figura 6A). Considerando o efeito isolado da compactação, no nível C3 o teor de Ca é significativamente maior (1,88 g.kg⁻¹) que nos níveis C1 (1,47 g.kg⁻¹) e C2 (1,63 g.kg⁻¹), os quais não diferem entre si. Porém todos os níveis encontraram-se abaixo do ideal à cultura, 4,0 g.kg⁻¹ (Cavalcanti, 2008)

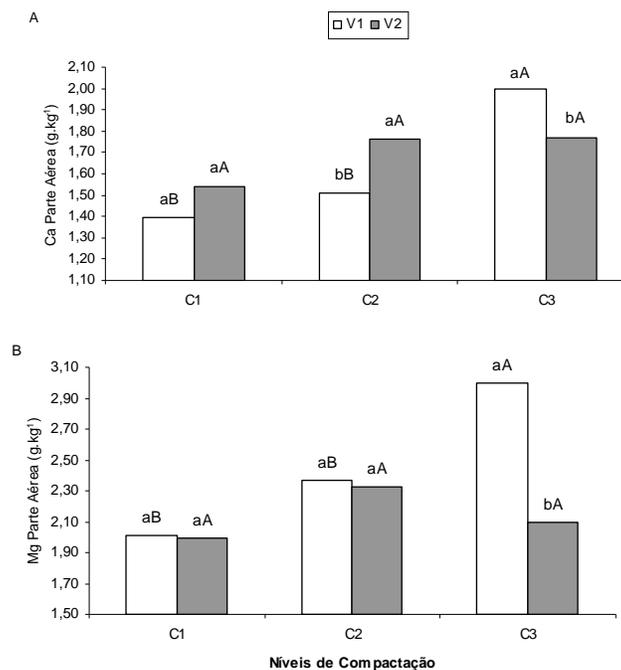


Figura 6. Teor de Ca (A) e Mg (B) na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar em função dos níveis de compactação e variedades. Médias seguidas de mesma letra, minúscula entre variedades e maiúscula entre níveis de compactação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Houve diferença significativa no teor de Mg na parte aérea entre a RB962962 (2,46 g.kg⁻¹) e a RB863129 (2,14 g.kg⁻¹). O efeito da compactação também foi significativo. Os níveis C2 e C3 (2,35 e 2,54 g.kg⁻¹, respectivamente) não diferiram entre si, porém diferiram de C1 (2,00 g.kg⁻¹ de Mg). A interação entre os dois fatores (variedade e compactação) ocorreu da seguinte forma: nos níveis C1 e C2 não houve diferença entre as variedades, porém no nível C3 ocorreu um aumento significativo de 30,1% entre os teores de Mg da RB962962 (Figura 6B). Em nenhum tratamento o nível de Mg esteve abaixo do considerado ideal à cultura, 2,0 g.kg⁻¹ (Cavalcanti, 2008). Provavelmente o maior contato solo-raiz proporcionado no nível C3 aumentou a absorção de Ca e Mg pelas plantas, entretanto o desbalanço existente entre estes íons no solo utilizado, promoveu uma maior absorção do Mg em relação ao Ca. Vitti & Mazza (1998) relatam que a relação ideal Ca:Mg é de 3 a 5:1. Arantes (1983) encontrou maior produção de matéria seca no milho com a relação Ca:Mg de 5:1.

De maneira geral, os efeitos da compactação sobre o desenvolvimento e nutrição iniciais da cana-de-açúcar no presente estudo parecem ter sido atenuados, dentre outras causas, em virtude do adequado suprimento hídrico durante o período, fato que está de acordo com Ahmad et al. (2009) que encontraram resultados semelhantes ao estudar os efeitos da compactação sobre o crescimento e nutrição da cultura do trigo em dois anos sucessivos onde a maior pluviosidade no segundo ano também causou uma redução nas perdas obtidas.

Em relação aos teores de nutrientes encontrados em cana planta, vale ressaltar que Oliveira (2011) estudando doses de N encontrou, para produtividades satisfatórias, teores críticos de N de 19,7 e 8,8 g.kg⁻¹, nas folhas +1 e parte aérea respectivamente, ressaltando-se assim, diferença entre os teores nos respectivos órgãos dos vegetais. O mesmo autor cita a variabilidade existente nos teores de nutrientes em função da variedade, da parte da planta e época de amostragem e do tipo de solo. Portanto, enquanto no presente estudo as amostras foram retiradas da parte aérea em plantas com 110 dias, a faixa ideal proposta por Cavalcanti, (2008) baseia-se em amostras de folhas +3 em plantas de 4 a 5 meses de idade.

A reprodução dos nematoides não foi influenciada nas condições em que se desenvolveu o presente estudo (Tabela 4). As variedades hospedeiras e os níveis de

compactação do solo impostos, bem como as interações entre estes fatores, não foram capazes de suprimir ou favorecer a reprodução destes parasitos, porém houve tendência de diminuição dos valores das variáveis analisadas com o aumento dos níveis de compactação (Tabela 5). Então, é plausível indagar que com o aumento dos níveis de compactação, essas diferenças se tornariam significativas. Por outro lado, a interação entre os fatores estudados é complexa, dificultando em parte a compreensão dos seus resultados.

Tabela 4. Resumo da ANOVA para as variáveis relacionadas aos nematoides

Fonte de Variação	Valores de F			
	GL	OP	OGRF	OGRS
Var	1	0,01 ns	0,80 ns	1,28 ns
Nem	1	84,12**	82,83 **	76,09 **
Com	2	1,53 ns	2,39 ns	1,26 ns
Var X Nem	1	0,01 ns	0,80 ns	1,28 ns
Var X Com	2	2,45 ns	2,12 ns	2,04 ns
Nem X Com	2	1,53 ns	2,39 ns	1,26 ns
Var X Nem X Com	2	2,45 ns	2,12 ns	2,04 ns

** , * : Significativo a 1% e a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ns: Não significativo de acordo com o teste F. Var: Variedades; Nem: Nematoides; Com: Compactação; GL: Graus de Liberdade; OP: Número de Ovos/Planta; OGRF: Número de Ovos/grama de Raiz Fresca; OGRS: Número de Ovos/grama de Raiz Seca.

Tabela 5. Valores médios do número de ovos por planta (OP), número de ovos por grama de raiz fresca (OGRF), número de ovos por grama de raiz seca (OGRS) e fator de reprodução dos nematoides em função dos níveis de compactação do solo

Nível de compactação do solo	OP	OGRF	OGRS	FR
C1	169760,5 a	1625,21 a	11292,2 a	2,18
C2	124284,3 a	1098,19 a	8244,69 a	1,60
C3	109426,8 a	935,9 a	7504,65 a	1,40

*Valores médios de 8 parcelas. Médias com letras iguais, entre colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

De maneira isolada, o aumento da densidade do solo para $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$ diminuiu a altura e peso do colmo da cana-de-açúcar, porém aumentou os teores de Ca e Mg na parte aérea.

A variedade RB962962 foi mais tolerante à compactação do solo do que a RB863129, demonstrando incrementos em peso e área foliares.

O parasitismo por *M. incognita* promoveu decréscimo no peso do sistema radicular das duas variedades de cana-de-açúcar.

O teor de K na parte aérea da cana-de-açúcar foi reduzido com a presença de nematoides nos estágios iniciais da cultura.

A reprodução de *M. incognita* não sofreu influencia significativa de nenhum dos fatores estudados.

LITERATURA CITADA

Ahmad N.; Hassan F.U., Belford, R.K. Effect of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (*Triticum aestivum*) I. Compaction. Field Crops Research, n.110, p.54–60, 2009).

Arantes, E. M. Efeitos da relação Ca:Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentrações de K, Ca, Mg e equilíbrio catiônico do milho (*Zea mays* L.). Lavras: ESAL, 1983. 62p. Dissertação Mestrado.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7182: Solo. Ensaio de compactação - ABNT. 1986. NBR 3. Rio de Janeiro, 1986. 11p.

Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. Métodos de análises químicas em plantas. Recife: Imprensa Universitária – UFRPE, 2011. 267p.

Braunack, M. V.; Arvidsson, J.; Hakansson, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions, and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. Soil and Tillage Research, v.89, p.103-121, 2006.

Calonego, J. C.; Gomes, T. C.; Santos, C. H.; Tiritan, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. Bioscience Journal, v.27, n.2, p.289-296, 2011.

Camargo, O. A.; Alleoni, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

Carneiro, R. G.; Mazzafera, P.; Ferraz, L. C. C. B.; Muraoka, T., Trevelin, P. C. O. Uptake and translocation of nitrogen, phosphorus and calcium in soybean infected with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. Fitopatologia Brasileira, v.27, n.2, p.141-150. 2002.

Cavalcanti, F. J. A. (Coord.). Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ed. Recife: IPA, 2008. 212 p.

Cofcewicz, E. T.; Carneiro, R. M. D. G.; Cordeiro, C. M. T.; Quénéhervé, P.; Faria, J. L. C. Reação de cultivares de bananeira a diferentes espécies de nematóides das galhas. Nematologia Brasileira, v.28, n.2, p.11-22, 2004.

Collares, J. L.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M.; Kaiser, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.933-942, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento. Brasília: CONAB, 2012. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf. 03 Set. 2012.

Corrêa, J. B. D.; Andrade, L. A. B.; Dias Júnior, M. S.; Alves, V. G. Efeitos da compactação de três tipos de solos no rendimento de matéria seca de duas variedades de cana-de-açúcar, em condições de casa de vegetação. *Revista STAB*, v.18, n.2, 1999.

Daros, E.; Oliveira, R. A.; Zambon, J. L. C.; Bessalho Filho, J. C. (Ed.) Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. Curitiba: RIDESA, 2010. 136 p.

Dinardo-Miranda, L. L. Manejo de nematoides em cana-de-açúcar. *Jornal Cana. Ribeirão Preto*, v.5, p.64-67, 2005.

Dinardo-Miranda, L. L.; Gil, M. A.; Menegatti, C. C. Danos causados por nematoides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. *Nematologia Brasileira*, v.27(1), p.69-73, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 1997.

Foloni, J. S. S.; Calonego, J. C.; Lima, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.8, p.947-953, 2003.

Galdos, M.V.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, n.153, p.347–352, 2009.

Gomes, V. M.; Souza, R. M.; Silva, M. M.; Dolinski, C. Caracterização do estado nutricional de goiabeiras em declínio parasitadas por *Meloidogyne mayaguensis*. *Nematologia Brasileira*, v.32, n.2, p.154-160, 2008.

Hermann, E. R.; Câmara, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. *Revista STAB*, v.17, n.5, p.32-34, 1999.

- Hussey, R. S.; Barker, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique Plant Disease Reporter, Beltsville, v.57, p.1025-1028, 1973.
- Kaiser, D. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M.; Collares, G. L.; Kunz, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.845-855, 2009.
- Klein, V. A.; Libardi, P. L.; Silva, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. Engenharia Agrícola, v.18, p.45-54, 1998.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Oliveira, E. C. A. Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011. 213p. Tese Doutorado.
- Pacheco, E. P.; Cantalice, J. R. B. Compressibilidade, resistência à penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.403-415, 2011.
- Pedrosa, E. M. R.; A meloidoginose da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.): Aspectos sintomatológicos, comportamento de cinco variedades prevalentes no nordeste do Brasil e relações com o raquitismo da soqueira. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 133p. Dissertação Mestrado.
- Rocha, F. S.; Pinheiro, J. B.; Campos, H. D.; Campos, V. P. Relação entre populações iniciais de *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* e o desenvolvimento do sistema radicular da soja. Nematologia Brasileira, v.32, n.2, p.161-166, 2008.
- Rosolem, C. A.; Vale, L. S. R.; Grasse, H. F.; Moraes, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, p.491-497, 1994.
- Seinhorst, J. W. The relationship between nematode density and damage to plants. Nematologica, v.11, p.137-54, 1965.
- Silva, A. J. N.; Cabeda, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.921-930, 2006.
- Van Dillewijn, C. Botanys of sugarcane. Waltham: Ckonica Botanica Co., 1952.

Vitti, G. C.; Mazza, J. A. Aspectos importantes no manejo da cana-de-açúcar. Piracicaba: FERTIZA/CEA, 1998. 3p. Folder Técnico.

Efeito de doses crescentes de vinhaça nos teores de macronutrientes da cana-de-açúcar parasitada por nematoides

Resumo

Os efeitos da incorporação ao solo de doses de vinhaça correspondentes a 0, 50, 100, 500 e 1000 m³.ha⁻¹ sobre a reprodução de *Meloidogyne incognita* e teores de macronutrientes da cana-de-açúcar variedade RB863129 foram determinados em delineamento inteiramente casualizado em casa de vegetação. As plantas foram inoculadas com 20.000 ovos de *M. incognita* por vaso aos 30 dias da semeadura e após aplicação da vinhaça, e os resultados avaliados 90 dias após a inoculação. A densidade populacional dos nematoides, fundamentada no número de ovos por planta, decresceu com o aumento das taxas de resíduo administradas. A incorporação da vinhaça promoveu redução significativa no número de ovos de *M. incognita* por planta, com máximo de redução obtido na dose de 728 m³.ha⁻¹, porém a presença dos nematoides promoveu decréscimo significativo no peso fresco das plantas. Os teor de N na parte aérea foi maior na dose de 100 m³.ha⁻¹, enquanto que para o P e o K, houve ajuste quadrático atingindo seus máximos respectivamente nas doses de 507 e 425 m³.ha⁻¹. Para o Ca, Mg e S, não foram observadas diferenças entre os tratamentos.

Palavras-chave: aproveitamento de resíduo, manejo, *Meloidogyne incognita*, nutrição mineral, *Saccharum*

Summary

Effect of vinasse increasing doses on macronutrient content of sugarcane parasited by nematodes

The effects of vinasse application in soil at rate of 0, 50, 100, 500 and 1000 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ on *Meloidogyne incognita* reproduction and macronutrient content of sugarcane variety RB863129 were evaluated in a completely casualised design under greenhouse. Plants were inoculated with 20000 *M. incognita* eggs per vase 30 days after planting, after vinasse application, and results evaluated 90 days after inoculation. Nematode population density, based on number of eggs per plant and per gram of root, decreased as residue rates increased. The incorporation of vinasse caused a significant reduction in the number of eggs of *M. incognita* per plant, with maximum reduction obtained at a dose of 728 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, but the presence of nematodes promoted significant decrease in weight of the plants. The N content in shoots was higher in the dose of 100 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, while for P and K, quadratic fit was reaching its maximum respectively at doses of 507 and 425 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. For Ca, Mg and S, there was no differences observed between treatments.

Key-words: residue use, management, *Meloidogyne incognita*, mineral nutrition, *Saccharum*

Conteúdo

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura de extrema importância para o Brasil, o maior produtor mundial. No Nordeste brasileiro, Pernambuco é o segundo maior produtor (CONAB, 2012). No entanto, grande área ocupada pela cultura na região está localizada nos tabuleiros costeiros, caracterizados edafoclimaticamente, na sua maioria, como regiões de solos arenosos e com estações secas prolongadas. Estes fatores, associados à baixa fertilidade do solo, baixos teores de matéria orgânica, ocorrência da doença raquitismo das soqueiras e incidência de cupins, predisõem a

cultura à alta severidade das doenças causadas por nematoides endoparasitas. Entre estes, as espécies *Meloidogyne incognita* (Kofoid e White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood e *Pratylenchus zaeae* Graham são as mais relatadas na região (Moura *et al.*, 2000; Moura, 2005; Chaves *et al.*, 2009).

Para o controle desses parasitos, a prática mais comum nos canaviais brasileiros tem sido o uso de nematicidas químicos, fato que vem sendo questionado, devido, entre outros aspectos, aos impactos negativos causados ao meio ambiente e inconstância dos resultados (Barros *et al.*, 2006). A incorporação de matéria orgânica ao solo tem sido uma alternativa para reduzir o uso dos agroquímicos, pois, ao serem adicionados ao solo, os produtos orgânicos liberam formas de nitrogênio tóxicas aos fitonematoides e possibilitam aumento da população microbiana antagonista (Rodriguez-Kabana *et al.*, 1987; Kaplan *et al.*, 1992), além de promover melhoria dos atributos do solo e fornecer nutrientes às plantas.

Nesse aspecto, a incorporação de vinhaça ao solo torna-se uma alternativa viável para manejo das áreas infestadas. Com altos teores de matéria orgânica e presença de nutrientes essenciais à planta em sua composição, a vinhaça é um resíduo produzido em alta quantidade, obtido da destilação do álcool na proporção de 10-18 l por litro de álcool produzido (Stupiello, 1987; Buzolin, 1997; Sobral, 1995). Devido à ação supressiva da vinhaça relatada sobre nematoides do gênero *Meloidogyne* (Albuquerque *et al.*, 2002; Pedrosa *et al.*, 2005), este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adição de vinhaça ao solo sobre a reprodução de *M. incognita* e nutrição da cana-de-açúcar.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (temperatura média 32±5°C) no Departamento de Agronomia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O solo utilizado foi previamente esterilizado em autoclave e possuía textura franco-arenosa,

com teores de 77, 7,8 e 15,2 % de areia, silte e argila, respectivamente. As análises químicas do solo, realizadas no Laboratório de Análises Agronômicas (Agrolab), apresentou as seguintes características: pH 4,4, 1 mg.dm⁻³ de P, 0,82; 0,51; 0,06; 0,045 e 0,40 cmol_c.dm⁻³ de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e Al³⁺, respectivamente. O solo foi adubado com superfosfato simples na concentração de 60 mg de P₂O₅ por dm⁻³ de solo seco, correspondendo à 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB863129, sendo as mudas provenientes de rebolos de gema única.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos, representados pelas doses de vinhaça e seis repetições. Os volumes utilizados de vinhaça corresponderam às doses de 0, 50, 100, 500 e 1000 m³.ha⁻¹, baseados na relação descrita por Ranzani (1955/56). O sexto tratamento consistiu da testemunha absoluta, que não recebeu inoculação com nematoides nem aplicação de vinhaça. A vinhaça apresentou as seguintes características: pH 4,4, 4.000 mg l⁻¹ de DBO, 21.800 mg l⁻¹ de DQO, 9,5 dS m⁻¹ de CE e 9.123 mg l⁻¹, 910 mg l⁻¹, 285 mg l⁻¹, 13 mg l⁻¹ e 81 mg l⁻¹ de sólidos solúveis totais, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺, respectivamente.

O plantio foi realizado em vasos de 10 l e após 30 dias da sementeira iniciou-se a diferenciação dos tratamentos, com a aplicação das respectivas doses de vinhaça através de regas sucessivas, respeitando-se a capacidade de pote, até que todo o volume do efluente fosse incorporado. A infestação do solo ocorreu após a adição da vinhaça utilizando-se uma suspensão de 20000 ovos de *M. incognita* por vaso. Decorridos 90 dias da infestação, as plantas foram colhidas e determinaram-se os pesos frescos da parte aérea e raízes, número de ovos por planta de acordo com Hussey & Barker (1973) e o fator de reprodução do nematoide (FR) obtido pela relação entre o número de ovos inoculado e o número de ovos obtido no final do experimento.

A parte aérea foi seca em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C até obtenção de peso constante. O material seco foi moído em moinho do tipo Willey para realização das análises de nutrientes no tecido vegetal conforme a metodologia proposta por Bezerra Neto & Barreto (2011). Os dados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão quando possível, nos demais casos foi realizado teste de comparação de médias pelo teste de Fisher (LSD) a 5% de probabilidade. Antes da análise, os dados relativos ao número de ovos por planta foram transformados para $\log_{10}(x+1)$.

A presença dos nematoides promoveu decréscimo de 14,62% sobre o peso fresco das plantas, reduzindo esta variável de 131,81 para 112,54 g quando na ausência de vinhaça no solo, demonstrando o efeito prejudicial do parasito sobre o acúmulo de biomassa da parte aérea (Figura 1A). Resultados semelhantes foram encontrados por Pedrosa *et al.* (2005) e Dinardo-Miranda *et al.* (2003). A adição de vinhaça em doses crescentes provocou redução linear sobre o peso fresco da parte aérea das plantas (Figura 1A).

No entanto, efeitos significativos sobre a reprodução de *M. incognita* foram obtidos. A incorporação do resíduo provocou redução significativa no número de ovos de *M. incognita* por planta, sendo a dose de 728 m³.ha⁻¹ a que provocou maior redução no número de ovos por planta (Figura 1B). Nessa dose de vinhaça aplicada, estima-se um número de ovos por planta de aproximadamente 21847, valor 77,92% menor que o obtido sem aplicação de vinhaça, de 98950 ovos por planta. O fator de reprodução do nematoide (Tabela 1) sofreu reduções em resposta às doses crescentes de vinhaça incorporada, comprovando a eficácia na redução da multiplicação do parasito, apesar da variedade utilizada ser considerada suscetível (FR>1). Resultados semelhantes foram encontrados por Pedrosa *et al.*, (2005) e Albuquerque *et al.* (2002). O efeito supressivo da vinhaça provavelmente está diretamente relacionado às propriedades da matéria

orgânica, que liberam ácidos graxos voláteis nocivos aos fitonematoides e indiretamente está associada à proliferação de inimigos naturais e à atividade e biodiversidade dos nematoides, fitoparasitos ou não, no ecossistema. (Kerry, 1990; Stirling, 1991; Niles & Freckman, 1998).

Em relação aos teores de N, P e K na parte aérea das plantas, houve efeito significativo das doses de vinhaça sobre os teores desses nutrientes. Para o teor de N, a resposta da cana-de-açúcar foi crescente até a dose de 100 m³.ha⁻¹ (Tabela 1). Houve ajuste quadrático para os teores de P e K na parte aérea. Para o teor de P (Figura 1C), houve efeito crescente até a dose de 507 m³.ha⁻¹, a qual proporcionou o maior teor deste nutriente na parte aérea (1,59 g.kg⁻¹). Isto representou um aumento de 23,27% no teor de P em relação às plantas que não receberam vinhaça. O teor de K na parte aérea respondeu de maneira crescente até a dose de 425 m³.ha⁻¹ apresentando, nesta dose, um valor de 11,29 g.kg⁻¹ (Figura 1D). Com relação às plantas que não receberam vinhaça isso representa um aumento de 14,08% no teor de K da parte aérea.

Para o Ca, Mg e S, não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Tabela 1).

Nas condições do presente estudo, a dose de 507 m³.ha⁻¹ proporcionou o maior teor de P na parte aérea das plantas, entretanto, para o K a dose de 425 m³.ha⁻¹ foi a que proporcionou o maior teor desse nutriente na parte aérea das plantas. Já para o N, a melhor resposta foi obtida na dose de 100 m³.ha⁻¹. Em doses mais elevadas, apesar de haver diminuição sobre a população de nematóides, ocorre redução no peso fresco da parte aérea das plantas e nos teores de nutrientes. Provavelmente, o reflexo negativo provocado pela vinhaça, está relacionado à elevação da concentração de sais solúveis na zona radicular do solo quando utilizada em dosagens elevadas, como explicam Freire & Cortez (2000).

Medina *et al.* (2002), quando avaliaram os efeitos da aplicação de vinhaça em diferentes lâminas (150, 300, 450 e 600 m³.ha⁻¹) sobre a produtividade da cana-de-açúcar, observaram que houve aumento significativo na produtividade até a dose de 300 m³.ha⁻¹. Assim, apesar da supressividade da vinhaça a *M. incognita*, doses elevadas do resíduo podem ser prejudiciais ao desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Literatura Citada

ALBUQUERQUE, P. H. S., E. M. R. PEDROSA & R. M. MOURA. 2002. Relações nematóide-hospedeiro em solo infestado por *Meloidogyne* spp. e tratado com torta de filtro e vinhaça. *Nematologia Brasileira*, 26: 27-34.

BARROS, A. C. B., R. M. MOURA & E. M. R. PEDROSA. 2006. Estudos sobre aplicações conjuntas de herbicidas e nematicidas sistêmicos na eficácia dos nematicidas em cana-de-açúcar. *Fitopatologia Brasileira*, 31: 254-259.

BEZERRA NETO, E. & L. P. BARRETO. 2011. Métodos de análises químicas em plantas. Recife: Imprensa Universitária – UFRPE. 267p.

BUZOLIN, P. R. S. 1997. Efeitos da palha residual da colheita da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal SP, 98p.

CHAVES, A., S. R. V. L. MARANHÃO, E. M. R. PEDROSA, L. M. P. GUIMARÃES & M. K. R. S. OLIVEIRA. 2009. Incidência de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em Cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, 33: 278-280.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento. Brasília: CONAB, 2012.

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf. 03 Set. 2012.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; M. A. GIL; C. C. MENEGATTI. 2003. Danos causados por nematoides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. *Nematologia Brasileira*, 27 (1): 69-73.

FREIRE, W. J. & L. A. B. CORTEZ. 2000. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guiba: Agropecuária, 203p.

HUSSEY, R. S. & K. R. BARKER. 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Disease Reporter*, 57: 1025-1028.

KAPLAN, M., J. P. NOE & P. G. HARTEL. 1992. The role of microbes associated with chicken litter in the suppression of *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Nematology*, 24: 522-527.

KERRY, B. R. 1990. An assessment of progress toward microbial control of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology*, Gainesville, 22: 621-631.

MEDINA, C. C.; C. S. V. J. NEVES; I. C. B. FONSECA & A. F. TORRETI. 2002. Crescimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. *Ciências Agrárias, Londrina*, 23 (2): 179-184.

MOURA, R.M. 2005. Nematóides de interesse agrícola assinalados pela UFRPA no Nordeste do Brasil (1967-2005). *Nematologia Brasileira*, 29: 289-292.

MOURA, R. M., E. M. R. PEDROSA, S. R. V. L. MARANHÃO, M. E. A. MACEDO, A. M. MOURA. E. G. SILVA & R. F. LIMA. 2000. Ocorrência dos nematóides *Pratylenchus zae* e *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, Fortaleza, 5: 101-103.

NILES, R. K. & D.W. FRECKMAN. 1998. From the ground up: nematode ecology in bioassessment and ecosystem health. In: Bartels, J.M. (ed). Plant and Nematode Interactions. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 65-85.

PEDROSA, E. M. R., M. M. ROLIM, P. H. S. ALBUQUERQUE & A. C. CUNHA. 2005. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9: 197-201.

RANZANI, G. 1956. Conseqüências da aplicação do restilo ao solo. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 12: 58-68.

RODRIGUEZ-KABANA, R., G. MORGAN-JONES & I. CHET. 1987. Biological control of nematodes soil amendments and microbial antagonists. Plant and Soil, 100: 237-247.

SOBRAL, E. 1995. A Cultura da Cana-de-açúcar. Imprensa Universitária UFRPE, Recife PE, 73p.

STIRLING, G. R. 1991. Biological control of plant parasitic nematodes. Brisbane: C.A.B. International, 274p.

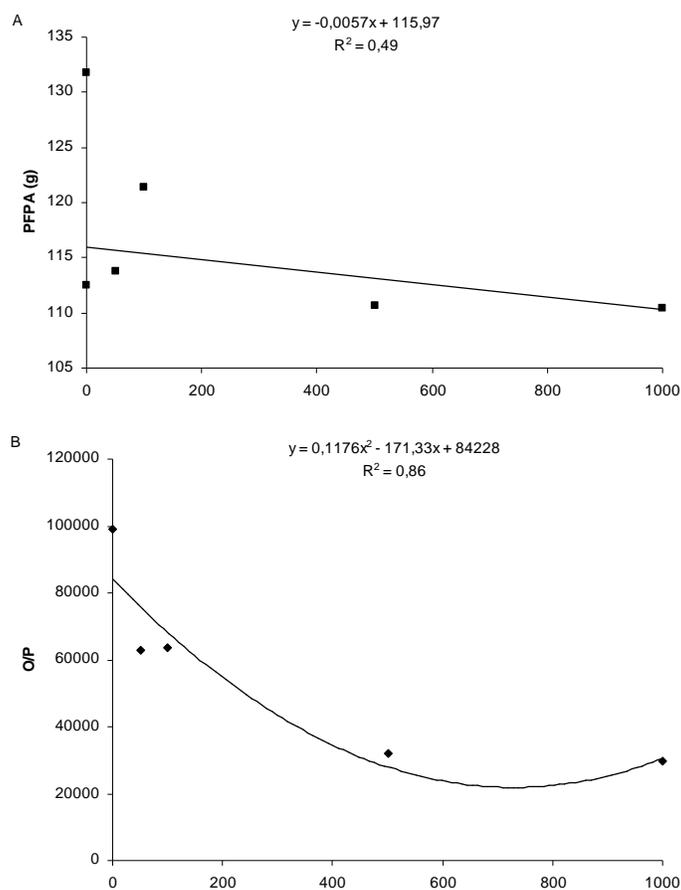
STUPIELLO, J. P. 1987 .A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S.R. (ed.) Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Fundação Cargill, São Paulo, p.761-804.

Tabela 1 – Teores de Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e Fator de Reprodução de *Meloidogyne incognita* (FR) em cana-de-açúcar sob diferentes doses de vinhaça.

Dose ¹	N ²	Ca ²	Mg ²	S ²	FR
0 ³	7,95 b	0,34 a	0,21 a	2,02 a	-
0	7,55 b	0,33 a	0,22 a	1,91 a	4,95
50	8,25 b	0,33 a	0,22 a	2,12 a	3,14
100	10,58 a	0,34 a	0,20 a	2,20 a	3,18
500	8,84 b	0,33 a	0,21 a	1,89 a	1,61
1000	8,23 b	0,32 a	0,20 a	2,05 a	1,48
CV %	5,63	18,56	22,75	20,72	-

¹Doses de vinhaça (m³.ha⁻¹) ²(g.kg⁻¹) ³Testemunha sem nematoide e sem vinhaça.

Médias na mesma coluna com diferentes letras minúsculas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Fisher (LSD).



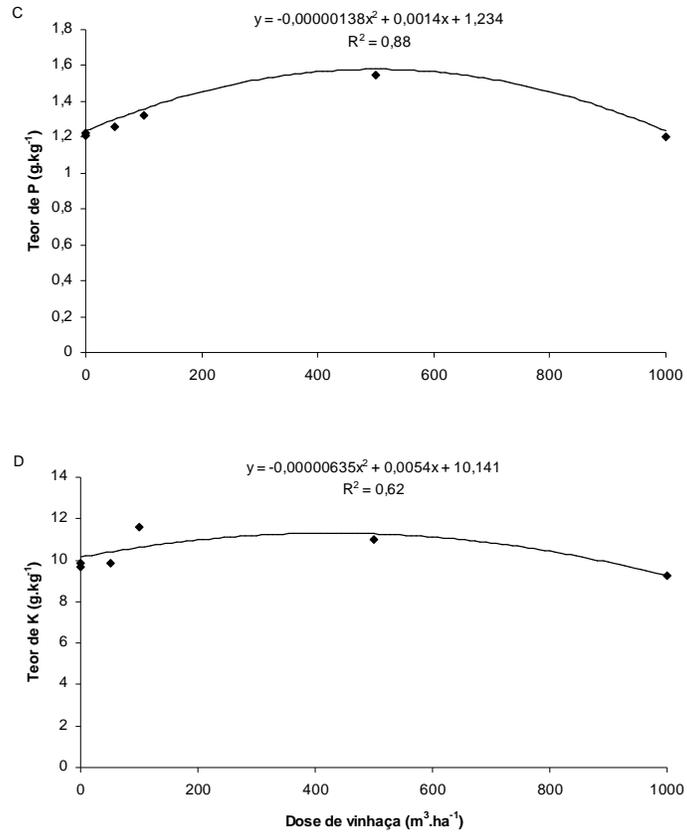


Figura 1 – (A) Peso fresco da parte aérea – PFPA, (B) número de ovos por planta – O/P, (C) teores de Fósforo – P e (D) Potássio – K, na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar em função de diferentes doses de vinhaça.