

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS DE LATOSSOLOS E PRODUTIVIDADE DA  
CANA-DE-AÇÚCAR EM DECORRÊNCIA DA  
DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS NO PERÍODO DE  
REFORMA DO CANAVIAL**

**Roniram Pereira da Silva**

Engenheiro agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS DE LATOSSOLOS E PRODUTIVIDADE DA  
CANA-DE-AÇÚCAR EM DECORRÊNCIA DA  
DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS NO PERÍODO DE  
REFORMA DO CANAVIAL**

**Roniram Pereira da Silva**

**Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,  
Câmpus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)**

**2013**

S586a Silva, Roniram Pereira da  
Atributos de Latossolos e produtividade da cana-de-açúcar em  
decorrência da diversificação de culturas no período de reforma do  
canavial / Roniram Pereira da Silva. – – Jaboticabal, 2013  
xii, 38 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013  
Orientadora: Carolina Fernandes  
Banca examinadora: José Eduardo Corá, Maria Helena Moraes  
Bibliografia

1. Usos do solo. 2. Soja. 3. Milheto. 4. Crotalaria. I. Título. II.  
Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL**

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** ATRIBUTOS DE LATOSSOLOS E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DECORRÊNCIA DA DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS NO PERÍODO DE REFORMA DO CANAVIAL

**AUTOR:** RONIRAM PEREIRA DA SILVA

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES

Departamento de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu

Data da realização: 18 de abril de 2013.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**RONIRAM PEREIRA DA SILVA** – Nascido dia 21 de outubro de 1984, na cidade de Jaraguá, GO, cursou o ensino médio no Colégio Estadual Diógenes de Castro Ribeiro, em Jaraguá, GO, no período de 1999 a 2001. Em março de 2003, ingressou no curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus de Ipameri. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PBIC/UEG no período de 2006 a 2007. Em agosto de 2007, graduou-se Engenheiro Agrônomo. No período de agosto de 2007 a dezembro de 2008 atuou como responsável técnico na empresa Agriplan Consultoria e Planejamento Rural, com sede à Avenida Francisco Magalhães, 716, setor Urias Magalhães, Goiânia-GO. Em janeiro de 2009 foi contratado pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Goiás – SEAGRO, permanecendo até setembro de 2010. Em agosto de 2011, iniciou o curso de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) ao nível de Mestrado pela Universidade Estadual Paulista – Câmpus de Jaboticabal, SP, onde foi bolsista CAPES, obtendo o título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo) em abril de 2013.

“Sei que meu trabalho é apenas uma gota no oceano, mas também sei que sem essa gota o oceano seria menor”.

**Madre Teresa de Calcutá**

*À minha família,*

***Eldijalmo José da Silva***, meu pai,

***Luzia Pereira da Silva***, minha mãe,

***Ronilson José da Silva***, meu irmão,

*como pequeno gesto de retribuição pela  
educação que me ofereceram e pelo amor,  
carinho e dedicação que sempre tiveram e têm  
para comigo.*

**DEDICO.**

*À minha Professora, Orientadora e Amiga*

***Carolina Fernandes***,

*pela enorme contribuição em minha formação  
profissional...*

**OFEREÇO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelas bênçãos, por me dar forças para trilhar os meus caminhos e pela oportunidade de concluir mais essa etapa da minha vida.

À minha família, Pai, Mãe e meu Irmão, que são o meu alicerce, pelo amor, pelo apoio e incentivo.

À minha orientadora Profa. Dra. Carolina Fernandes, pelos ensinamentos, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro ao projeto (Processo nº 2011/06491-0).

À Paulo Rodrigues por ter cedido as duas áreas agrícolas e a infraestrutura necessária para a condução dos experimentos.

Ao professor José Carlos Barbosa, por todos os esclarecimentos quanto aos procedimentos estatísticos das análises dos dados do presente trabalho.

A todos os professores da FCAV-UNESP, que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

À amiga Gisela Oliveira, que mesmo à distância tornou-se presente e contribuiu muito na reta final desse trabalho através do carinho, do incentivo e das suas orações.

À amiga Priscila Truber, pela imensa ajuda nas análises realizadas e pela amizade.

Ao Tiago Fieno, pela amizade, pelo auxílio durante a condução dos experimentos, pela ajuda nas coletas e nos ensinamentos de laboratório.

Aos meus amigos, Marcos Sales, Danilo, Priscila Volante, Junior, Liliane, Llerme, Darlene, Getúlio, Gustavo e Fernando, pela amizade e auxílio durante a condução do experimento e no curso de Mestrado.

Aos muitos amigos que fiz na Pós-Graduação, que me proporcionaram momentos muito agradáveis durante nossa convivência.

Ao Adolfo Valente Marcelo pela ajuda com as análises estatísticas.



Aos estagiários que me auxiliaram em algumas análises, Juliana Decina e Ícaro Schiavon.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, Célia, Maria Inês, Luís, Dejair, Claudia, Ademir, Gomes e Anderson.

Ao Marcelo e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da FCAV-UNESP, pelo auxílio durante a condução e coleta dos experimentos que resultou o presente estudo.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação e da Biblioteca da FCAV-UNESP, pelo atendimento e auxílio.

A todos os meus amigos pessoais, que sempre estiveram ao meu lado.

Enfim, a todos, que de alguma forma, contribuíram para que esse acontecimento se concretizasse.

**MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	XI
ABSTRACT .....	XII
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Descrição da área experimental.....	12
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	12
3.3. Condução do experimento .....	14
3.4. Avaliações.....	15
3.5. Análises estatísticas.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5. CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS.....	31

## ATRIBUTOS DE LATOSSOLOS E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DECORRÊNCIA DA DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS NO PERÍODO DE REFORMA DO CANAVIAL

**RESUMO** – A diversificação de culturas, no período de reforma do canavial, pode contribuir para a melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, incrementando seu potencial produtivo para o próximo ciclo da cana-de-açúcar. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, sobre os atributos de Latossolos e a produtividade da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em duas áreas localizadas no município de Jaboticabal, SP (21°14'05" S e 48°17'09" W), em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa (argila = 680 g kg<sup>-1</sup>) e um Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa (argila = 440 g kg<sup>-1</sup>). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições e quatro tratamentos, caracterizados por diferentes usos do solo no período de reforma do canavial (soja/milheto/soja, soja/crotalária/soja, soja/pousio/soja e soja). Após a colheita da cana-de-açúcar, coletaram-se amostras de solo nas camadas 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m de profundidade para a determinação dos atributos químicos (pH, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, H+A, T e V) e dos atributos físicos (índice de estabilidade de agregados em água, diâmetro médio ponderado dos agregados, resistência do solo à penetração, densidade, macro, micro e porosidade total e curva de retenção de água no solo). O diâmetro médio ponderado dos agregados e a resistência do solo à penetração foram determinados nas camadas de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m. Determinaram-se os teores de nutrientes aos 21 meses após o plantio do canavial. A produtividade da cana-de-açúcar e o açúcar total recuperável foram determinados nos dois primeiros cortes da cultura. Os diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, não influenciaram os atributos químicos do solo, a produtividade e o açúcar total recuperável das variedades de cana-de-açúcar cultivadas no LVef e no LVw. A sequência de culturas soja/milheto/soja cultivada no LVw favoreceu a agregação do solo.

**Palavras-chave:** usos do solo, soja, milho, crotalária.

## OXISOL ATTRIBUTES AND SUGARCANE YIELD DUE TO CROP DIVERSIFICATION DURING THE SUGARCANE FALLOW PERIOD

**ABSTRACT** – Crop diversification during the sugarcane fallow period, can improve chemical and physical soil attributes, increasing the yield potential of the following sugarcane cycle. The objective of this study was to evaluate the influence of different soil uses during the sugarcane fallow period before next sugarcane cycle, on the Oxisol attributes and sugarcane yield. The study took place in two experimental areas located at Jaboticabal, São Paulo State, Brazil (21°14'05" S and 48°17'09" W), under two Oxisols: a very clayey (680 g kg<sup>-1</sup>) Eutroferric Red Oxisol, and a clayey (440 g kg<sup>-1</sup>) Acric Oxisol. A randomized block design was used with five replicates and four treatments. The treatments were different soil uses in the sugarcane fallow period (soybean/millet/soybean, soybean/sunnhemp/soybean, soybean/fallow/soybean, and soybean). After sugarcane harvesting, soil samples were collected at 0.00-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m depth. In each soil sample were determined pH, organic matter, P, K, Ca, Mg and H + Al soil content and were calculated cation exchange capacity and base saturation percentage. Also in each soil sample were determined water aggregate stability index, aggregate mean weight diameter, soil penetration resistance, bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity and soil water retention curve. The aggregate mean weight diameter and soil penetration resistance were determined from 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m depth. The leaf nutrient content were determined 21 months after sugarcane planting. Sugarcane yield and total recoverable sugar were determined in the first and second harvests. The different land uses during the sugarcane fallow period did not affect chemical soil attributes, yield and total recoverable sugar in both soils (Eutroferric Red Oxisol and Acric Oxisol). Soybean/millet/soybean under the Acric Oxisol promoted better soil aggregation.

**Keywords:** soil uses, soybean, millet, sunnhemp.

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil durante o período colonial e se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira. O País é o maior produtor de cana e também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol (MAPA, 2012). A área cultivada que será colhida e destinada à atividade sucroenergética na safra 2012/13 está estimada em 8,52 milhões de hectares com previsão de 595,13 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para ser moída, o que corresponde a um aumento de 6,20 % em relação à safra 2011/12 (CONAB, 2012).

O cenário atual demonstra o interesse mundial pela agroenergia e a indústria sucroenergética encontra-se inserida em uma realidade promissora ao crescimento. No entanto, ainda enfrenta resistência daqueles que consideram a cana-de-açúcar um monocultivo. Assim, o setor depara-se com o desafio de comprovar, pela incorporação tecnológica, que o aumento da produção de cana-de-açúcar por meio de resultados competitivos e sustentáveis está vinculado com a diversificação de culturas, profissionalização e integração das cadeias produtivas, englobando os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Sabe-se dos benefícios relacionados ao uso da diversificação de culturas, podendo-se destacar, melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, auxílio no controle de pragas e doenças, otimização do uso de máquinas na propriedade e diversificação da produção. Entretanto, a cana-de-açúcar é semi-perene e pode permanecer no campo por um período médio entre seis e oito anos, ou mais, dependendo das condições edafoclimáticas de cultivo. Dessa forma, essa característica da cana-de-açúcar acaba restringindo o uso da diversificação de culturas apenas ao período de reforma do canavial. Entretanto, é possível a utilização de espécies nesse período, que contribuam para melhorar a qualidade do solo.

Os atributos do solo são influenciados distintamente pela diversificação de culturas e algumas sequências com sucessão de espécies de famílias diferentes favorecem uma maior agregação do solo. Contudo, esta diversificação deve proporcionar praticidade na sua adoção e, ainda, promover efeitos benéficos às culturas subsequentes, resultando em ganhos econômicos com sustentabilidade

ambiental. Uma alternativa é o uso de culturas produtoras de grãos no período de reforma do canavial, possibilitando o aumento da rentabilidade no ano agrícola.

Sistemas de base conservacionista usam frequentemente a cultura da soja devido a sua importância econômica como uma das principais “commodities” brasileiras. Por isso, em áreas de cultivo da cana-de-açúcar, o uso de um cultivo de soja, no período de reforma do canavial, é prática comum. No entanto, há a possibilidade de utilizar-se dois cultivos de soja nesse período para possibilitar maior tempo de ação dessas culturas na melhoria da qualidade química e física do solo, potencializar a quebra do ciclo de pragas e doenças e aumentar a oferta de grãos sem, contudo, reduzir a produtividade e a longevidade do canavial. Em trabalho utilizando dois cultivos de soja, durante o período de reforma do canavial, alguns autores observaram acréscimos da produtividade na ordem de 26 % em relação ao pousio e um maior rendimento global com a renda extra da venda da produção de grãos da soja.

Diante do exposto, evidencia-se a necessidade de estudos para definir um melhor uso do solo, no período de reforma do canavial, visando à diversificação de culturas e, ao mesmo tempo, abrangendo os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Assim, a hipótese deste trabalho foi que o uso de dois cultivos de soja, com um cultivo de gramínea ou leguminosa entre eles, no período de reforma do canavial, promove a melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, incrementando seu potencial produtivo para o próximo ciclo da cana-de-açúcar.

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, sobre os atributos de Latossolos e a produtividade da cana-de-açúcar.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A remoção da cobertura vegetal natural e a implantação de atividades agropecuárias, devido às ações que envolvem as diferentes formas de uso e manejo, provocam desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o manejo adotado influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando seus atributos (RANGEL; SILVA, 2007; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010). Essas modificações antrópicas do solo podem ser de caráter positivo ou negativo, isto é, tanto podem provocar melhoria em certos atributos do solo, como também podem acelerar sua degradação, dependendo principalmente da natureza do solo, da espécie vegetal, do sistema de manejo usado e do tempo de exploração agrícola (RANGEL; SILVA, 2007; CARNEIRO et al., 2009; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010).

Segundo Costa et al. (2003), uma das principais metas da pesquisa em manejo de solos é identificar e desenvolver sistemas de manejo de solo adaptados às condições edafoclimáticas, sociais, culturais e regionais. Quanto ao ponto de vista técnico, os autores consideram que o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo. Por isso, a avaliação das alterações ocorridas nos atributos dos solos em função do seu uso e manejo assume importância prática, uma vez que o entendimento das modificações ocorridas nos atributos químicos e físicos, decorrentes do seu cultivo, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis (RANGEL; SILVA, 2007; CARNEIRO et al., 2009).

Sistemas que adotam a diversificação de culturas promovem vários benefícios, já que os resíduos vegetais das culturas, ao se decomporem, alteram os atributos do solo e, como consequência podem influenciar o desempenho da cultura em sucessão (MARCELO et al., 2009). Assim, a adoção de rotação de culturas, em especial nos sistemas de base conservacionista, passou a ser preconizada para o manejo físico, químico e biológico do solo. Quanto aos atributos químicos, a rotação de culturas visa aumentar a disponibilidade de macro e micronutrientes para a cultura em sucessão (AMBROSANO et al., 2005). Segundo esses autores, as

leguminosas são normalmente utilizadas porque são capazes de fixar nitrogênio e possuem na sua composição química fósforo, potássio e cálcio. Além disso, sua baixa relação C/N disponibiliza tais nutrientes mais rapidamente do que as gramíneas.

Segundo Andrade, Stone e Silveira (2009) tem-se estimulado a adoção da rotação de culturas para manter e/ou aumentar os teores de matéria orgânica, criar poros biológicos, melhorar a estrutura e manter palha suficiente na superfície do solo. Sabe-se que o cultivo do solo modifica seus atributos físicos quando comparado à condição natural sem intervenção antrópica (WOHLENBERG et al., 2004; ALBUQUERQUE et al., 2005; ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009). Isso evidencia a importância do uso de plantas de cobertura para manter os atributos físicos do solo próximos das condições naturais, uma vez que esses atributos são alterados, favoravelmente, pelo seu teor de matéria orgânica (CUNHA et al., 2011). Além disso, segundo Albuquerque et al. (2005), a recuperação de solos degradados, por meio do uso de plantas de cobertura, foi mais efetiva quando estas foram associadas ao preparo reduzido, evidenciando a importância de sistemas de manejo com baixo revolvimento do solo e alto aporte de resíduos vegetais para aumentar o carbono orgânico do solo.

As espécies vegetais que compõem o sistema de rotação de culturas também têm expressivo efeito na qualidade química e física do solo. Segundo Martens (2000), as plantas em geral possuem as mesmas classes bioquímicas de compostos orgânicos, tais como carboidratos, amidos, proteínas, lipídeos e fenóis, porém em proporções variáveis de acordo com as espécies, o que influencia o grau e a taxa de decomposição. Portanto, as leguminosas se degradam mais rapidamente, devido a menor relação C/N, disponibilizando nutrientes para a cultura em sucessão, mas em contrapartida, os resíduos vegetais das gramíneas permanecem por mais tempo na superfície do solo, por apresentarem menor taxa de decomposição em decorrência da maior relação C/N (AMBROSANO et al., 2005). Assim, sequências de culturas, envolvendo gramínea e leguminosa são uma boa opção para melhorar a qualidade do solo (MARTINS; ANGERS; CORÁ, 2012a; MARTINS; ANGERS; CORÁ, 2012b; MARTINS; ANGERS; CORÁ, 2013).



É evidente a importância do uso de plantas de cobertura para manter os atributos físicos do solo próximos das condições naturais, utilizando sistemas com baixo revolvimento e uma quantidade maior de espécies em rotação ou sucessão, conseqüentemente favorecendo o efeito acumulativo dos benefícios das diferentes plantas utilizadas para este fim (SILVA; FERNANDES; TRUBER, 2012).

Wohlenberg et al. (2004) constataram que a sequência de culturas com a sucessão de gramíneas e leguminosas favoreceu a maior agregação do solo. Estes autores estudaram, durante oito anos, a influência de sistemas de culturas de cobertura e o teor de matéria orgânica sobre a agregação de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico textura superficial franco-arenosa em seu estado natural e sob rotação e sucessão de culturas de gramíneas, leguminosas, crucíferas e compostas. Os autores concluíram que existe uma ação direta das culturas na formação e estabilização dos agregados. Os sistemas de cultivo que aportam materiais orgânicos e cobrem o solo durante todo o ano favorecem a estabilidade e a distribuição do tamanho de agregados. Independentemente da época de amostragem, os menores valores de diâmetro médio e de índice de estabilidade de agregados sempre ocorreram no solo descoberto e os maiores no campo natural, mesmo com o campo natural apresentando níveis de fertilidade inferiores aos dos sistemas com adição de fertilizantes químicos. Além disso, a maior percentagem de agregados na classe de 8,00 a 4,76 mm ocorreu nos sistemas que mantiveram o solo coberto e com maior teor de matéria orgânica. Por outro lado, nos sistemas com solo descoberto e preparado, houve aumento de agregados na classe entre 1,00 e 0,21 mm, devido à destruição dos agregados maiores provocada pelas práticas agrícolas.

Reinert et al. (2008), avaliando a qualidade física de um Argissolo Vermelho distrófico típico textura superficial média e subsuperficial argilosa, cultivado no sistema de plantio direto, após o cultivo de plantas de cobertura de gramínea (*Avena strigosa*), leguminosa (*Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Vicia sativa* e *Stilozobium cinereum*) e crucífera (*Raphanus sativus*), observaram que o crescimento normal das raízes das plantas de cobertura ocorreu até o limite de densidade de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ . Entre a faixa de  $1,75$  e  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , ocorreu restrição, com deformações na morfologia das raízes em grau médio, e, acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ ,

essas deformações foram significativas, com engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial. Os autores concluíram que, todas as espécies avaliadas podem ser utilizadas em solos com algum grau de compactação, mas, quando a densidade for superior a  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , pode ser necessária a mobilização do solo com escarificador ou subsolador para facilitar a penetração das raízes em profundidade.

Após cinco anos de uso de sistemas de cultivo de milho em preparo reduzido e convencional intercalado com plantas de cobertura de verão em um Latossolo Vermelho distroférico textura muito argilosa, Argenton et al. (2005) observaram que o cultivo de milho isolado não recuperou os atributos relacionados com a forma da estrutura do solo. Entretanto, no sistema milho intercalado com mucuna cinza, notou-se aumento da macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada, bem como a redução da densidade do solo. Os autores também observaram que estas melhorias foram advindas do uso de plantas de cobertura, pois, não foram observadas no sistema de preparo convencional. Considerando-se a média das camadas, no sistema com milho mais mucuna cinza, a macroporosidade e a porosidade total foram maiores,  $0,16$  e  $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente, enquanto no milho isolado foram menores,  $0,13$  e  $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente.

Andrade, Stone e Silveira (2009) avaliaram o efeito de oito culturas de cobertura de gramíneas e leguminosas cultivadas durante o verão, antes do cultivo de feijoeiro irrigado, sobre os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa e concluíram que as coberturas de milho consorciado com braquiária, guandu e crotalária estão entre as que propiciaram os maiores valores de macroporosidade e os menores de densidade do solo na camada superficial (0,00–0,10 m), respectivamente,  $0,15$ ,  $0,17$  e  $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para a macroporosidade e  $1,24$ ,  $1,18$  e  $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$  para a densidade.

Costa et al. (2003) avaliaram os atributos físicos na camada de 0,00–0,20 m de um Latossolo Bruno alumínico câmbico textura variando de argilosa a muito argilosa influenciados pelos sistemas plantio direto e preparo convencional em um experimento de longa duração (21 anos) em rotação e sucessão com gramíneas, leguminosas e crucíferas, utilizando a mesma tecnologia e critérios de uma lavoura comercial. Os autores observaram que o sistema plantio direto promoveu, em

relação ao preparo convencional, redução de 9,00 % na densidade em subsuperfície (0,10–0,20 m), redução de 13,00 % nas temperaturas máximas (15 h) na camada de 0,00–0,05 m, aumento de 126,00 % no diâmetro médio geométrico dos agregados e um aumento de 26,00 % no conteúdo de água volumétrica. Assim, os autores observaram que o plantio direto, há 21 anos sem revolvimento, favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e concluíram que essa melhoria nos atributos físicos do solo, pode ter contribuído para o maior rendimento das culturas da soja (18 safras) e do milho (4 safras) que apresentaram, respectivamente, um rendimento de grãos acumulado de 42,00 e 22,00 % maiores no sistema plantio direto do que no plantio convencional.

O rendimento de uma cultura não depende só do seu manejo. Uma escolha adequada da sucessão e/ou rotação de culturas pode contribuir para a melhoria das condições de solo e, conseqüentemente, para a maximização da produção e da sustentabilidade da atividade agrícola (SILVA; FERNANDES; TRUBER, 2012). Entretanto, pela característica semi-perene da cana-de-açúcar, a possibilidade de implantar a diversificação de culturas restringe-se ao período de reforma do canavial.

Os primeiros estudos realizados no Estado de São Paulo utilizando cana-de-açúcar em sucessão com leguminosas foram conduzidos por Cardoso em 1956, citado por Bolonhezi (2007). Os resultados mostraram que o cultivo de *Crotalaria juncea* e *Dolichos lab lab* proporcionaram aumentos médios de 14 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos de cana-de-açúcar, com efeito residual até o terceiro corte.

Na região de Guariba, SP, Rodrigues (1980) realizou as primeiras experiências práticas com soja entre os ciclos de produção da cana-de-açúcar. Dentre os vários benefícios, destacaram-se a redução do custo de implantação da cana-de-açúcar e o aumento da receita líquida da propriedade.

Duarte Júnior e Coelho (2008) avaliaram o efeito de leguminosas, no período de reforma do canavial, sobre o rendimento da variedade de cana-de-açúcar SP 80-1842, cultivada em sistema de plantio direto logo após o ciclo das leguminosas em um Cambissolo Ta eutrófico argiloso textura argila-siltosa. O trabalho foi realizado em Campos dos Goytacazes, RJ, utilizando-se feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-preta (*Mucuna aterrimum*) e crotalária (*Crotalária juncea*) em

plântio direto e vegetação espontânea em preparo convencional como testemunha. Os autores observaram que as leguminosas acumularam maiores quantidades de N e Cu na fitomassa do que a vegetação espontânea e concluíram que o sistema de plântio direto da cana, com emprego das leguminosas em cobertura, contribuiu para a maior produtividade da cana-de-açúcar, 135,86 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo 37,00 % superior ao preparo convencional do solo com a vegetação espontânea incorporada.

Ambrosano et al. (2009) avaliaram o desempenho da variedade IAC-87-3396 cultivada em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico em rotação, no período de reforma do canavial, com amendoim Tatu, amendoim IAC-Caiapó, crotalária IAC-2 e mucuna-preta. Os autores concluíram que após cinco cortes o melhor desempenho da cana-de-açúcar foi observado no sistema com crotalária, que apresentou maior rendimento de colmos de cana e a maior produção de açúcar, 3 Mg a mais que a testemunha sem rotação com plantas de cobertura. Os autores atribuíram esses resultados a maior produção de matéria seca de crotalária, sendo 9,31 Mg ha<sup>-1</sup> para a parte aérea e 0,94 Mg ha<sup>-1</sup> para as raízes, favorecendo um maior fornecimento de N, por meio da fixação biológica, e também de outros nutrientes tais como P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn para a cultura da cana-de-açúcar.

Em um experimento desenvolvido em Piracicaba, SP, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, Ambrosano et al. (2011) avaliaram o cultivo de leguminosas, no período de reforma do canavial, sobre a produtividade e lucratividade da cana-de-açúcar. Os autores observaram que houve um incremento na produtividade (30,00 %) e no teor de açúcar da cana (35,00 %), na média de cinco cortes, quando se cultivou a crotalária júncea, no período da reforma do canavial, comparado com o tratamento testemunha, sem cultivo de leguminosas. Além disso, a crotalária júncea proporcionou a melhor relação custo-benefício para ser usada na reforma do canavial, destacando-se em relação à produção de material vegetal e ao acúmulo de nutrientes, em especial ao de N.

Mascarenhas et al. (1994), na década de 90, conduziram experimentos em Latossolo Roxo distrófico, localizado em Sales de Oliveira, SP, com o objetivo de avaliar a sucessão de cana-de-açúcar com leguminosas. O primeiro experimento dos autores constituiu-se de um cultivo de leguminosa na reforma do canavial. As espécies utilizadas foram: mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), crotalária (*Crotalaria*

*juncea*) e soja (*Glycine max*). Os resultados (média de três anos) mostraram acréscimos na produtividade de cana-de-açúcar de 22,00 % após crotalária, 20,00 % após mucuna e 4,00 % após soja, quando comparados ao pousio ( $123 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). O segundo experimento constituiu-se de dois cultivos dessas leguminosas por ocasião da reforma do canavial. Nesse experimento os aumentos na produtividade de cana-de-açúcar em relação ao pousio foram de 39,00 % para crotalária-crotalária, 33,00 % para mucuna-mucuna, 33,00 % para soja-mucuna, 27,00 % para mucuna-soja e 26,00 % para soja-soja. Os autores observaram ainda aumentos no rendimento de açúcar de  $2,40 \text{ Mg ha}^{-1}$  quando a cana foi cultivada após crotalária e de  $2,60 \text{ Mg ha}^{-1}$  após a mucuna, quando comparada com a cana cultivada após soja. Contudo, uma análise econômica mostrou maior rendimento global quando houve renda extra com a venda da produção de grãos da soja.

Fernandes, Corá e Marcelo (2012) avaliaram a influência de diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, nos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa e um Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa. Os usos do solo foram os cultivos de: soja, soja/pousio/soja, soja/milheto/soja e soja/crotalária/soja. Os autores observaram que após os dois cultivos de soja, os atributos químicos do LVef permaneceram dentro dos limites considerados como médios e altos; enquanto aqueles do LVw, antes classificados como teores médios a altos, passaram à classificação teores altos. Portanto, os diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, promoveram a manutenção dos níveis de fertilidade do LVef e a melhoria dos níveis de fertilidade do LVw. Além disso, os autores concluíram que o uso de dois cultivos de soja, no período de reforma do canavial, em comparação a um cultivo de soja, proporcionou maior valor de macroporosidade, na camada 0,00–0,10 m de profundidade do LVef e a utilização do milheto ou da crotalária entre os dois anos agrícolas da soja, em comparação ao pousio, no período de reforma do canavial, favoreceu a formação de agregados maiores na camada 0,00–0,10 m de profundidade do LVw.

A introdução de espécies distintas ao sistema de cultivo contribui para a manutenção e o equilíbrio dos nutrientes no solo, melhorando sua fertilidade ao longo do tempo, e proporcionando um melhor aproveitamento dos fertilizantes pelas

culturas (CARVALHO et al., 2004). No entanto, a diversificação de culturas contribui também para a qualidade física do solo, pois, as gramíneas apresentam uma ação agregante mais prolongada, devido ao sistema radicular que proporciona um maior contato com as partículas do solo (SILVA et al., 1998).

Neste contexto, não só as leguminosas, mas também as gramíneas podem apresentar potencial para serem utilizadas no período de reforma do canavial. As leguminosas destacam-se pela rápida decomposição dos resíduos vegetais, devido a menor relação C/N, disponibilizando nutrientes para a cultura principal, como por exemplo, o fornecimento de nitrogênio, já que têm a capacidade de fixar no seu sistema radicular o nitrogênio atmosférico por meio da simbiose estabelecida com bactérias *Bradyrhizobium* (AITA; GIACOMINI, 2003; AITA et al., 2004). Enquanto, as gramíneas destacam-se pelo seu sistema radicular fasciculado, bem mais denso e volumoso, o qual proporciona melhorias mais efetivas nos atributos do solo (SILVA et al., 1998), quando comparado aos efeitos do sistema radicular pivotante das leguminosas e seus resíduos permanecem por mais tempo na superfície do solo por causa da menor taxa de decomposição, resultado da maior relação C/N, proporcionando ao solo proteção contra o impacto das gotas de chuva e prevenindo a erosão (MARCELO et al., 2009).

Para a escolha das espécies que constituirão o sistema é de fundamental importância a correta adaptação dessas espécies às condições climáticas (CERETTA et al., 2002), além de características, tais como, elevada produção de matéria seca e taxa de crescimento, facilidade de manejo e sistema radicular vigoroso e profundo, e também, o interesse do produtor às perspectivas de comercialização dos produtos (MARCELO et al., 2009).

No verão, uma alternativa é o uso de culturas produtoras de grãos no período de reforma do canavial, possibilitando o aumento da rentabilidade no ano agrícola. Em sistemas de base conservacionista, a cultura da soja vem sendo bastante empregada, a qual tem grande importância econômica como uma das “commodities” brasileiras (BRANCALIÃO; MORAES, 2008). Por isso, em áreas de cultivo da cana-de-açúcar, o uso de um cultivo de soja, no período de reforma do canavial, é prática comum. No entanto, alguns autores observaram que é viável a utilização de dois cultivos de soja nesse período (MASCARENHAS et al., 1994; FERNANDES; CORÁ;

MARCELO, 2012) e assim, possibilitar um maior tempo de ação dessas culturas, maximizando os efeitos da diversificação sem, contudo, reduzir a produtividade e a longevidade do canavial. Em relação às diversas espécies vegetais utilizadas como culturas de cobertura no inverno, que podem variar dependendo da região, tem-se observado bons resultados, quanto às características desejáveis, para as culturas de milho pela rusticidade (SILVEIRA et al., 2005) e a crotalária pela agressividade do sistema radicular e pela produção de biomassa (ALVARENGA et al., 1995).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área experimental

O experimento foi instalado em 2008 e vem sendo conduzido em duas áreas localizadas no município de Jaboticabal, estado de São Paulo, com latitude de 21°14'05" S, longitude de 48°17'09" W e altitude média de 615, 01 m. Uma das áreas com Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) textura muito argilosa (areia = 140 g kg<sup>-1</sup>, silte = 180 g kg<sup>-1</sup>, argila = 680 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0,00–0,20 m) e outra com Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa (areia = 440 g kg<sup>-1</sup>, silte = 120 g kg<sup>-1</sup>, argila = 440 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0,00–0,20 m). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C. A precipitação média anual (1971–2000) é de 1424,60 mm, com concentração de chuvas no período de outubro a março e relativa seca entre abril e setembro. As duas áreas foram destinadas à produção de cana-de-açúcar por mais de 30 anos, com colheita de cana crua mecanizada desde 1995.

#### 3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições e quatro tratamentos, caracterizados por diferentes usos do solo no período de reforma do canavial. Os usos do solo, no período de outubro de 2008 a fevereiro de 2010, constituíram-se dos cultivos de: soja/milheto/soja (SMS), soja/crotalária/soja (SCS), soja/pousio/soja (SPS) e soja (S). Em SMS, SCS e SPS, foram realizados dois cultivos de soja (*Glycine max*) nos períodos de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 e outubro de 2009 a fevereiro de 2010. Entre o primeiro e o segundo cultivo de soja, no período de março a setembro de 2009, o solo foi cultivado com milho (*Pennisetum americanum*) (SMS) ou crotalária (*Crotalaria juncea*) (SCS) ou permaneceu em pousio (SPS), tendo sido realizadas capinas manuais periódicas para manter o solo descoberto, sem a presença de vegetação



espontânea. Em S realizou-se um cultivo de soja no período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

A defasagem de um ano entre o uso do solo S em relação aos demais (SMS, SCS e SPS) deveu-se à necessidade de se obter o primeiro corte de cana-de-açúcar (realizado em junho de 2011), assim como os cortes subsequentes, no mesmo ano agrícola para os quatro diferentes usos do solo, viabilizando a comparação estatística dos resultados.

A parcela experimental ocupou uma área de 270 m<sup>2</sup> (18 m de largura x 15 m de comprimento), sendo 12 linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento entrelinhas de 1,50 m, e 15 m de comprimento (Figura 1). A área útil da parcela compreendeu 120 m<sup>2</sup>, ou seja, 8 linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento. A bordadura da parcela constitui-se de 2 linhas externas de cada lado e 2,50 m em cada extremidade das linhas. Dentro de cada bloco, as parcelas foram separadas entre si por carreadores de 10 m e entre os blocos por carreadores de 3 m. As dimensões das parcelas e dos carreadores visaram viabilizar as operações com máquinas agrícolas necessárias durante a condução da cana-de-açúcar.

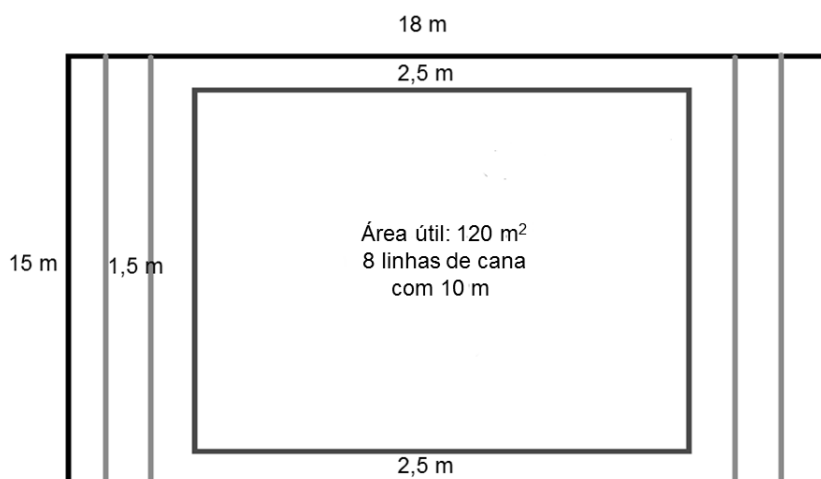


Figura 1. Parcela experimental: espaçamento da cana, bordadura e área útil da parcela.

### 3.3. Condução do experimento

Para a instalação do experimento, a soqueira de cana-de-açúcar do ciclo produtivo anterior foi eliminada com a utilização de eliminador mecânico de soqueira.

A variedade de soja semeada em todos os diferentes usos do solo nos dois anos agrícolas (2008/2009 e 2009/2010) foi a Coodetec 216. O espaçamento foi de 0,45 m entre linhas com o objetivo de obter uma população de 400.000 plantas ha<sup>-1</sup> e a adubação de semeadura, nos dois solos, constituiu-se de 0,30 Mg ha<sup>-1</sup> da fórmula 03-30-10. Durante o ciclo da cultura da soja, o controle de pragas e doenças ocorreu de acordo com as recomendações fitotécnicas específicas para a cultura. A colheita da soja foi realizada por volta dos 120 dias após a semeadura, utilizando-se colhedora mecânica de parcelas.

A semeadura do milho e da crotalária foram realizadas utilizando-se semeadora para plantio direto, no espaçamento de 0,45 m entre linhas, sem adubação de plantio, visando uma população de 3.000.000 de plantas ha<sup>-1</sup> para o milho e 555.500 plantas ha<sup>-1</sup> para a crotalária. A colheita do milho e da crotalária foi realizada, respectivamente, aos 144 e 166 dias após a semeadura, utilizando-se colhedora mecânica de parcelas.

Nas parcelas que permaneceram em pousio, realizaram-se capinas manuais periódicas para manter o solo descoberto, sem a presença de vegetação espontânea, visando à comparação com os tratamentos que tiveram o cultivo de milho ou crotalária entre os dois cultivos de soja.

Após os diferentes usos do solo, empregados durante o período de reforma do canavial, realizou-se o plantio da cana-de-açúcar no sistema mecanizado em fevereiro de 2010, utilizando-se a variedade SP 87-365, no ambiente de produção A, área com LVef, e a variedade RB 83-5054, no ambiente de produção C, área com LVw. A cultura foi conduzida segundo as recomendações fitotécnicas específicas e as correções e as adubações do solo foram realizadas segundo Spironello et al. (1997).

### 3.4. Avaliações

As amostras para a determinação dos atributos químicos do solo e do índice de estabilidade de agregados em água (IEA) foram coletadas após o primeiro corte da cana-de-açúcar em junho de 2011 (16 meses após o plantio da cana-de-açúcar), usando amostras deformadas de solo coletadas com auxílio de trado tipo holandês nas camadas 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m de profundidade. Para cada profundidade coletou-se uma amostra composta por parcela. Os atributos químicos determinados foram pH ( $\text{CaCl}_2$ ), matéria orgânica (MO), fósforo disponível (P), teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), utilizando os métodos propostos por Raij et al. (2001). Obtidos os resultados, foram calculadas a capacidade de troca de cátions (T) e a saturação por bases do solo (V). A determinação do IEA foi realizada em agregados com diâmetro entre 2,00 e 1,00 mm, de acordo com o método proposto por Nimmo e Perkins (2002).

Para a determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), as amostras foram coletadas nas camadas de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m, com a umidade do solo em um intervalo apropriado para a amostragem, em agosto de 2011 (18 meses após o plantio da cana-de-açúcar). Coletaram-se, com auxílio de enxadão, uma amostra composta por parcela. Para a determinação do DMP, utilizaram-se agregados com diâmetro entre 6,30 e 4,00 mm e conjunto de peneiras com abertura de 4,00, 2,00, 1,00, 0,50, 0,25 e 0,125 mm, de acordo com o método proposto por Nimmo e Perkins (2002).

Coletaram-se amostras indeformadas de solo, utilizando-se anéis volumétricos (0,05 x 0,05 m), nas camadas 0,00–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m de profundidade. Para cada profundidade, coletaram-se três amostras por parcela em outubro de 2011 (20 meses após o plantio da cana-de-açúcar), quando a umidade do solo encontrou-se em um intervalo apropriado para essa amostragem. Nessas amostras, os atributos determinados foram densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método de Grossman e Reinsch (2002) e porosidade total (PT), macroporosidade (Mac) e microporosidade (Mic) do solo pelo método de EMBRAPA (1997). Utilizou-se uma amostra de solo indeformada para a determinação da curva de retenção de água no solo (CRA). Essas amostras foram submetidas progressivamente às

tensões de 0,0005, 0,0010, 0,0020, 0,0030, 0,0040, 0,0050, 0,0060, 0,0070, 0,0080, 0,0090 e 0,0100 MPa, utilizando-se mesa de tensão; 0,03, 0,10 e 0,30 MPa, utilizando-se câmara de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986), e 1,5 MPa, utilizando-se o psicrômetro WP4-C (SCANLON; ANDRASKI; BILSKIE, 2002). Em seguida, determinaram-se as CRAs ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980). Nas camadas de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m, coletaram-se adicionalmente três amostras indeformadas por parcela, para a avaliação da resistência do solo à penetração (RP) pelo método proposto por Tormena, Silva e Libardi (1998). A RP foi determinada após a amostra ter sido submetida a uma tensão de 0,01 MPa, equivalente à capacidade de campo, segundo Reichardt (1988), utilizando-se um penetrômetro eletrônico estático de laboratório.

Em novembro de 2011 (21 meses após o plantio da cana-de-açúcar), visando a avaliação do estado nutricional da cultura da cana-de-açúcar para acompanhar o desenvolvimento vegetal, foi realizada amostragem de folhas durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo da cultura, segundo método proposto por Raij et al. (1997). As folhas foram lavadas em água deionizada, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até atingirem peso constante e depois foram moídas. A seguir foram submetidas à análise química para determinação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, boro, ferro, manganês e zinco, segundo método descrito por Bataglia et al. (1983).

As colheitas do primeiro e do segundo corte da cana-de-açúcar nas duas áreas experimentais foram realizadas, respectivamente, em junho de 2011 e junho de 2012. A produção foi avaliada nas quatro linhas centrais da área útil da parcela. Para isso, a colheita da área útil foi manual e todas as canas colhidas nas quatro linhas de 10 m (60 m<sup>2</sup>) foram pesadas. As demais linhas da parcela foram colhidas mecanicamente. Em ambos os casos, sem queima da palha. Em seguida, determinou-se a produtividade e os valores foram expressos em Mg ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita da cana-de-açúcar, foram retiradas amostras de dez colmos coletados em sequência na linha central da área útil de cada parcela, dos quais foram retiradas as folhas verdes e secas, assim como foi realizada a eliminação do ponteiro. Nessas amostras foi determinado o açúcar total recuperável (ATR), conforme método do CONSECANA (2003).

### **3.5. Análises estatísticas**

As variáveis foram submetidas à análise de variância a 1 %, seguindo o delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos (usos do solo no período de reforma do canavial), realizou-se a análise conjunta dos experimentos (comparando os dois solos) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes usos do solo não influenciaram os atributos químicos do Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) (Tabela 1) e do Latossolo Vermelho ácrico (LVw) (Tabela 2) nas quatro profundidades avaliadas. Os valores semelhantes podem ser justificados pela adubação, pois a cana-de-açúcar recebeu a mesma dose de adubo no plantio, independente do uso do solo no período de reforma do canavial, e pela época da avaliação, 16 meses após o plantio da cana-de-açúcar. Provavelmente, além dos nutrientes fornecidos pela adubação, a cultura absorveu também o que foi acumulado durante a decomposição dos resíduos das culturas utilizadas no período da reforma do canavial. Fernandes, Corá e Marcelo (2012) determinaram nessas mesmas áreas experimentais, após a reforma do canavial e antes do plantio da cana-de-açúcar (fevereiro de 2010), os atributos químicos dos dois solos e observaram que os diferentes usos promoveram a manutenção dos níveis de fertilidade do LVef (médios a altos) e a melhoria dos níveis de fertilidade de médios a altos do LVw para altos, de acordo com Raj et al. (1997).

No LVef, os valores do IEA variaram entre 70,00 e 80,00 % nas camadas avaliadas e não foram influenciados pelos diferentes usos do solo (Tabela 3). Por outro lado, no LVw, o IEA da camada 0,10–0,20 m foi alterado significativamente pelos diferentes usos do solo (Tabela 4). Provavelmente, essa diferença entre os dois solos deve-se ao maior teor de argila do LVef ( $680 \text{ g kg}^{-1}$ ), quando comparado com o LVw ( $440 \text{ g kg}^{-1}$ ), o que proporciona ao LVef uma maior estabilidade na agregação do solo.

Observou-se no LVw que os usos do solo com maior número de operações agrícolas (semeadura, pulverizações e colheita), devido aos dois cultivos de soja, apresentaram menores valores de IEA (Tabela 4). Entretanto, o valor do IEA do solo cultivado com milho entre os dois cultivos de soja (SMS = 59,20ab) foi estatisticamente igual ao valor do IEA do solo cultivado com soja (S = 64,20a). Portanto, a sequência de culturas soja/milho/soja (SMS), mesmo diante de maior número de operações agrícolas, contribuiu para o aumento do IEA, evidenciando o efeito positivo da sucessão gramínea-leguminosa na agregação do solo. Sabe-se desse efeito do sistema radicular do milho para a qualidade física do solo, pois, as

gramíneas apresentam uma ação agregante mais prolongada, devido ao sistema radicular que proporciona um maior contato com as partículas do solo (SILVA et al., 1998).

Tabela 1. Atributos químicos do Latossolo Vermelho eutrófico, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Usos do solo	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O. g kg <sup>-1</sup>	P resina mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				T	V %
				0,00–0,10 m					
soja	5,26	28,77	30,60	1,72	42,40	16,60	40,60	101,32	59,32
soja/pousio/soja	5,22	29,18	49,80	1,42	44,40	15,60	40,00	101,42	60,26
soja/milheto/soja	5,36	29,38	60,80	1,90	50,00	19,60	37,00	108,50	65,94
soja/crotalária/soja	5,42	30,81	56,60	1,84	50,60	18,40	37,20	108,04	65,53
F <sup>(1)</sup>	0,64 <sup>NS</sup>	1,86 <sup>NS</sup>	1,69 <sup>NS</sup>	0,47 <sup>NS</sup>	1,53 <sup>NS</sup>	1,23 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	3,39 <sup>NS</sup>	0,73 <sup>NS</sup>
CV (%)	4,80	4,92	46,52	40,28	15,71	20,61	19,23	4,62	14,38
-----0,10–0,20 m-----									
soja	5,02	25,10	25,60	1,52	30,80	13,00	39,00	84,32	53,48
soja/pousio/soja	4,96	25,10	29,00	1,16	29,40	12,40	40,60	83,56	51,13
soja/milheto/soja	5,18	26,32	54,80	1,60	34,40	15,40	36,00	87,40	58,36
soja/crotalária/soja	5,08	25,91	37,80	1,56	33,40	13,80	39,60	88,36	54,96
F <sup>(1)</sup>	0,58 <sup>NS</sup>	0,54 <sup>NS</sup>	0,80 <sup>NS</sup>	0,66 <sup>NS</sup>	0,53 <sup>NS</sup>	0,50 <sup>NS</sup>	0,53 <sup>NS</sup>	0,88 <sup>NS</sup>	0,52 <sup>NS</sup>
CV (%)	5,43	7,28	88,46	38,25	22,18	30,12	15,70	6,46	17,15
-----0,20–0,40 m-----									
soja	4,88	21,22	18,40	1,34	23,00	11,40	44,80	80,54	44,68
soja/pousio/soja	4,78	20,81	15,80	1,04	21,00	10,20	46,00	78,24	41,14
soja/milheto/soja	4,98	19,59	20,00	1,24	24,20	12,80	40,60	78,84	48,91
soja/crotalária/soja	4,96	20,61	16,00	1,46	26,40	12,40	42,20	82,46	48,40
F <sup>(1)</sup>	0,74 <sup>NS</sup>	0,56 <sup>NS</sup>	0,35 <sup>NS</sup>	0,91 <sup>NS</sup>	0,73 <sup>NS</sup>	0,90 <sup>NS</sup>	0,51 <sup>NS</sup>	0,61 <sup>NS</sup>	0,78 <sup>NS</sup>
CV (%)	4,82	10,05	43,59	32,75	24,97	23,38	17,62	6,79	20,02
-----0,40–0,60 m-----									
soja	4,84	13,67	5,60	1,18	15,60	8,20	31,00	55,98	44,26
soja/pousio/soja	4,80	14,28	6,40	1,08	14,60	7,60	31,00	54,28	42,85
soja/milheto/soja	5,04	15,71	10,40	1,66	19,20	10,20	27,60	58,66	53,19
soja/crotalária/soja	4,94	13,87	6,60	1,18	19,00	9,20	29,20	58,58	49,76
F <sup>(1)</sup>	1,88 <sup>NS</sup>	1,58 <sup>NS</sup>	1,08 <sup>NS</sup>	1,04 <sup>NS</sup>	3,50 <sup>NS</sup>	1,69 <sup>NS</sup>	1,29 <sup>NS</sup>	1,03 <sup>NS</sup>	3,20 <sup>NS</sup>
CV (%)	3,57	11,36	63,74	44,91	16,40	22,34	10,85	8,26	12,66

(1) NS = não significativo.

Wohlenberg et al. (2004) observaram uma ação direta das culturas na formação e estabilização dos agregados, ocorrendo estabilidade maior em sistemas de cultivo que aportam material orgânico e cobrem o solo durante o ano todo. Segundo os autores, as sequências de culturas influenciam diferenciadamente a agregação do solo, dependendo da época do ano e do tempo de estabelecimento

dos sistemas de culturas, e as sequências de culturas com sucessão de gramíneas com leguminosas apresentaram maior agregação.

Tabela 2. Atributos químicos do Latossolo Vermelho ácrico, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Usos do solo	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O. g kg <sup>-1</sup>	P resina mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	T	V	
										-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----
----- 0,00–0,10 m -----										
soja	5,54	22,36	47,40	2,30	48,60	18,60	26,80	96,30	70,95	
soja/pousio/soja	5,46	21,45	104,80	2,56	46,20	14,00	28,60	91,36	68,53	
soja/milheto/soja	5,36	21,09	74,40	2,68	39,40	13,20	30,40	85,68	64,43	
soja/crotalária/soja	5,46	20,36	116,20	2,38	47,00	13,00	28,00	90,38	68,38	
F <sup>(1)</sup>	1,35 <sup>NS</sup>	0,92 <sup>NS</sup>	5,40 <sup>NS</sup>	0,71 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>	1,69 <sup>NS</sup>	2,50 <sup>NS</sup>	0,69 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>	
CV (%)	2,59	9,11	34,85	18,35	20,43	30,81	7,45	12,89	7,30	
----- 0,10–0,20 m -----										
soja	5,36	19,81	34,20	1,96	45,40	21,80	31,80	100,96	63,54	
soja/pousio/soja	5,42	19,63	53,40	2,20	39,80	13,00	27,60	82,60	66,55	
soja/milheto/soja	5,38	19,63	59,40	2,30	37,40	12,60	29,20	81,50	64,36	
soja/crotalária/soja	5,36	18,90	43,80	1,74	36,80	12,60	29,20	80,34	63,39	
F <sup>(1)</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	0,32 <sup>NS</sup>	4,21 <sup>NS</sup>	2,12 <sup>NS</sup>	0,41 <sup>NS</sup>	0,94 <sup>NS</sup>	0,81 <sup>NS</sup>	0,94 <sup>NS</sup>	0,20 <sup>NS</sup>	
CV (%)	3,95	8,22	25,25	18,80	34,40	69,93	14,68	26,10	11,22	
----- 0,20–0,40 m -----										
soja	5,12	15,27	24,40	1,48	22,80	11,20	31,20	66,68	50,99	
soja/pousio/soja	5,20	14,54	29,60	1,68	25,00	8,40	28,00	63,08	55,03	
soja/milheto/soja	5,16	15,09	21,60	1,64	23,20	9,40	28,60	62,84	54,03	
soja/crotalária/soja	5,12	13,45	18,40	1,34	20,60	8,40	28,00	58,34	51,73	
F <sup>(1)</sup>	0,22 <sup>NS</sup>	1,86 <sup>NS</sup>	1,06 <sup>NS</sup>	1,38 <sup>NS</sup>	0,53 <sup>NS</sup>	0,71 <sup>NS</sup>	1,60 <sup>NS</sup>	0,93 <sup>NS</sup>	0,43 <sup>NS</sup>	
CV (%)	3,51	9,19	43,79	19,33	24,16	37,57	9,31	12,65	12,29	
----- 0,40–0,60 m -----										
soja	5,02	11,45	10,80	1,06	15,40	8,20	27,80	52,46	45,91	
soja/pousio/soja	5,14	10,36	6,60	1,38	15,40	6,00	24,20	46,98	48,71	
soja/milheto/soja	5,04	10,91	6,40	1,32	14,20	6,00	27,40	48,92	44,12	
soja/crotalária/soja	5,06	10,36	7,40	1,28	14,80	6,20	26,40	48,68	45,92	
F <sup>(1)</sup>	0,44 <sup>NS</sup>	1,61 <sup>NS</sup>	2,06 <sup>NS</sup>	0,63 <sup>NS</sup>	0,18 <sup>NS</sup>	1,54 <sup>NS</sup>	2,82 <sup>NS</sup>	1,65 <sup>NS</sup>	0,56 <sup>NS</sup>	
CV (%)	3,49	8,55	40,82	31,10	20,04	29,27	8,11	8,13	12,21	

(1) <sup>NS</sup> = não significativo.

Segundo Martens (2000), isso ocorre porque compostos resistentes à degradação, como lignina e substâncias fenólicas, são decompostos mais lentamente e se combinam com produtos de síntese microbiana para constituir as substâncias húmicas no solo; portanto, a quantidade de substâncias resistentes à degradação produzidas, como a lignina e, principalmente, substâncias fenólicas nos resíduos vegetais, explicariam o efeito das plantas na estabilidade de agregados do solo. Segundo o autor, as plantas em geral possuem as mesmas classes



bioquímicas de compostos orgânicos, tais como carboidratos, amidos, proteínas, lipídeos e fenóis, porém em proporções variáveis de acordo com as espécies, o que influencia o grau e a taxa de decomposição. Assim, materiais orgânicos com baixa relação C/N, como aqueles encontrados em leguminosas, podem manter a fertilidade do solo e, quando combinados em sequências de culturas, envolvendo tanto gramíneas como leguminosas, tornam-se uma estratégia adequada para melhorar a qualidade e minimizar a vulnerabilidade à degradação física do Latossolo Vermelho em região tropical de inverno seco (MARTINS; ANGERS; CORÁ, 2012a; MARTINS; ANGERS; CORÁ, 2012b; MARTINS; ANGERS; CORÁ, 2013).

Tabela 3. Índice de estabilidade de agregados do solo (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), resistência à penetração (RP), densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (PT) do Latossolo Vermelho eutroférico, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Usos do solo	IEA %	DMP mm	RP MPa	Ds Mg m <sup>-3</sup>	Mac ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	Mic ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	PT
----- 0,00–0,10 m -----							
soja	76,80	2,68	3,58	1,50a	0,03	0,46	0,49b
soja/pousio/soja	74,20	2,50	3,35	1,46ab	0,03	0,47	0,50b
soja/milheto/soja	76,00	2,45	3,04	1,42b	0,04	0,48	0,52a
soja/crotalária/soja	71,60	2,49	3,52	1,45ab	0,04	0,47	0,51ab
F <sup>(1)</sup>	1,62 <sup>NS</sup>	0,68 <sup>NS</sup>	0,58 <sup>NS</sup>	6,88 <sup>**</sup>	1,55 <sup>NS</sup>	3,94 <sup>NS</sup>	8,28 <sup>**</sup>
CV (%)	5,42	11,26	21,05	1,98	32,99	1,64	1,75
----- 0,10–0,20 m -----							
soja	75,80	2,78a	3,54	1,49	0,07	0,43b	0,50
soja/pousio/soja	74,60	2,21b	3,24	1,47	0,06	0,45a	0,51
soja/milheto/soja	78,00	2,15b	2,99	1,47	0,06	0,45a	0,51
soja/crotalária/soja	74,00	2,18b	3,25	1,46	0,06	0,44ab	0,50
F <sup>(1)</sup>	1,42 <sup>NS</sup>	17,12 <sup>*</sup>	0,66 <sup>NS</sup>	0,71 <sup>NS</sup>	1,79 <sup>NS</sup>	7,15 <sup>*</sup>	0,02 <sup>NS</sup>
CV (%)	4,38	7,01	18,95	2,21	18,70	1,16	2,17
----- 0,20–0,40 m -----							
soja	78,00			1,49	0,07	0,43	0,50
soja/pousio/soja	79,00			1,47	0,07	0,43	0,50
soja/milheto/soja	79,40			1,49	0,07	0,44	0,51
soja/crotalária/soja	77,80			1,48	0,07	0,44	0,51
F <sup>(1)</sup>	0,22 <sup>NS</sup>			0,28 <sup>NS</sup>	0,22 <sup>NS</sup>	0,63 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>
CV (%)	4,70			2,76	26,52	2,55	2,56
----- 0,40–0,60 m -----							
soja	78,20			1,45	0,08	0,44	0,52
soja/pousio/soja	77,80			1,43	0,08	0,44	0,52
soja/milheto/soja	80,00			1,43	0,09	0,44	0,53
soja/crotalária/soja	76,80			1,43	0,09	0,44	0,53
F <sup>(1)</sup>	2,02 <sup>NS</sup>			0,35 <sup>NS</sup>	0,76 <sup>NS</sup>	1,38 <sup>NS</sup>	2,02 <sup>NS</sup>
CV (%)	2,69			3,35	25,50	1,91	2,72

(1) <sup>NS</sup> = não significativo; \* = significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Tabela 4. Índice de estabilidade de agregados do solo (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), resistência à penetração (RP), densidade (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (PT) do Latossolo Vermelho ácrico, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Usos do solo	IEA %	DMP mm	RP MPa	Ds Mg m <sup>-3</sup>	Mac ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	Mic ----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	PT
----- 0,00–0,10 m -----							
soja	65,80	2,98a	2,87	1,70	0,04	0,38	0,42
soja/pousio/soja	62,80	2,18b	2,74	1,70	0,03	0,37	0,40
soja/milheto/soja	63,20	2,55ab	3,09	1,69	0,04	0,37	0,41
soja/crotalária/soja	64,60	2,06b	2,90	1,70	0,04	0,37	0,41
F <sup>(1)</sup>	0,40 <sup>NS</sup>	8,09*	0,54 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>	1,05 <sup>NS</sup>	1,56 <sup>NS</sup>	3,60 <sup>NS</sup>
CV (%)	7,56	13,25	15,14	1,96	26,12	2,28	1,97
----- 0,10–0,20 m -----							
soja	64,20a	2,48	3,13	1,72	0,05	0,37	0,42a
soja/pousio/soja	55,00b	2,23	2,76	1,67	0,05	0,36	0,41ab
soja/milheto/soja	59,20ab	2,27	2,88	1,68	0,04	0,36	0,40b
soja/crotalária/soja	55,00b	2,42	2,74	1,72	0,04	0,36	0,40b
F <sup>(1)</sup>	7,09	0,31 <sup>NS</sup>	1,17 <sup>NS</sup>	3,23 <sup>NS</sup>	3,99 <sup>NS</sup>	3,57 <sup>NS</sup>	6,12*
CV (%)	6,29	20,65	12,81	1,93	13,82	2,35	2,17
----- 0,20–0,40 m -----							
soja	57,60			1,71	0,06	0,36	0,42
soja/pousio/soja	51,80			1,69	0,05	0,36	0,41
soja/milheto/soja	55,40			1,72	0,05	0,36	0,41
soja/crotalária/soja	51,00			1,72	0,05	0,36	0,41
F <sup>(1)</sup>	3,51 <sup>NS</sup>			0,49 <sup>NS</sup>	1,71 <sup>NS</sup>	0,38 <sup>NS</sup>	1,97 <sup>NS</sup>
CV (%)	6,85			2,06	20,71	3,31	2,70
----- 0,40–0,60 m -----							
soja	57,60			1,67	0,05	0,38	0,43
soja/pousio/soja	53,20			1,67	0,04	0,38	0,42
soja/milheto/soja	54,00			1,66	0,05	0,38	0,43
soja/crotalária/soja	48,80			1,65	0,05	0,37	0,42
F <sup>(1)</sup>	2,28 <sup>NS</sup>			0,37 <sup>NS</sup>	0,57 <sup>NS</sup>	0,88 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>
CV (%)	10,01			2,82	28,28	2,89	2,29

(1) <sup>NS</sup> = não significativo; \* = significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Os valores do IEA no LVef foram estatisticamente superiores aos do LVw em todas as camadas avaliadas (Tabela 5). Tal fato, possivelmente, é consequência do maior conteúdo de matéria orgânica (Tabela 5) e de argila do LVef (680 g kg<sup>-1</sup>) em relação ao LVw (440 g kg<sup>-1</sup>), conforme observado também por outros autores. Souza et al. (2009), estudando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar, concluíram que a estabilidade dos agregados do Latossolo Vermelho eutrófico (argila = 630 g kg<sup>-1</sup> e MO = 25,04 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0,00–0,40 m) foi superior ao do Latossolo Vermelho distrófico (argila

= 361 g kg<sup>-1</sup> e MO = 15,05 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0,00–0,40 m) devido ao maior teor de argila e de matéria orgânica. Luca et al. (2008), avaliando atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima do canavial, observaram que o teor de carbono foi maior quanto maior o teor de argila e, segundo os autores, há indicação de que a decomposição e a humificação se processam mais rapidamente em solo com maior teor de areia e menor teor de argila. Possivelmente, esse fato explica o maior teor de matéria orgânica no LVef, quando comparado ao LVw.

Tabela 5. Matéria orgânica (MO), índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) e densidade (Ds) dos dois solos, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Solos	MO	IEA	Ds
	g kg <sup>-1</sup>	%	Mg m <sup>-3</sup>
	----- 0,00–0,10 m -----		
Latossolo Vermelho eutroférico	29,54a	74,65a	1,46b
Latossolo Vermelho ácrico	21,31b	64,10b	1,70a
F <sup>(1)</sup>	95,44**	71,85*	210,37**
CV (%)	7,01	6,49	1,97
	----- 0,10–0,20 m -----		
Latossolo Vermelho eutroférico	25,61a	75,60a	1,47b
Latossolo Vermelho ácrico	19,49b	58,35b	1,69a
F <sup>(1)</sup>	199,98*	83,21*	307,18*
CV (%)	7,74	5,33	2,07
	----- 0,20–0,40 m -----		
Latossolo Vermelho eutroférico	20,56a	78,55a	1,48b
Latossolo Vermelho ácrico	14,59b	53,95b	1,71a
F <sup>(1)</sup>	116,88**	245,34**	32976,16**
CV (%)	9,61	5,77	2,41
	----- 0,40–0,60 m -----		
Latossolo Vermelho eutroférico	14,38a	78,20a	1,43b
Latossolo Vermelho ácrico	10,77b	53,40b	1,66a
F <sup>(1)</sup>	45,19**	251,38**	3482,45**
CV (%)	9,95	6,35	3,08

(1) \*\* = significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Os valores do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) foram influenciados na camada de 0,10–0,20 m do LVef (Tabela 3) e na camada de 0,00–0,10 m do LVw (Tabela 4). No LVef o uso de um cultivo de soja (S) proporcionou maior DMP do que o uso de dois cultivos de soja, independentemente do uso entre os cultivos, pousio (SPS), milho (SMS) ou crotalária (SCS). Possivelmente o maior

número de operações agrícolas nesses usos contribuiu para a redução do DMP dos agregados, corroborando os resultados de Fernandes, Corá e Marcelo (2012), obtidos após a reforma do canavial e antes do plantio da cana-de-açúcar (fevereiro de 2010). No LVw o uso do solo com milho (SMS), com maior número de operações agrícolas, proporcionou valor de DMP, na camada 0,00–0,10 m igual ao observado em S, confirmando o efeito positivo da sucessão gramínea-leguminosa, como discutido anteriormente.

Os diferentes usos do solo não alteraram significativamente os valores de resistência do solo à penetração (RP) do LVef (Tabela 3) e do LVw (Tabela 4). Porém, nos dois solos observaram-se valores de RP acima de 2 MPa, considerado como valor crítico para o crescimento das plantas em geral (TAYLOR; ROBERSON; PARKER JÚNIOR, 1966).

Os níveis críticos de resistência do solo para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada, sendo difícil estabelecer limites críticos (PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010). A redução do revolvimento do solo em cultivos de base conservacionista, associada à maior intensidade de uso, expõe o solo a intenso tráfego de máquinas, que contribui para alterar a qualidade estrutural do solo, acarretando aumento da compactação em muitas áreas manejadas sob esses sistemas (CARVALHO et al., 2008). Contudo, a adoção do valor de 2 MPa como restritivo ao desenvolvimento radicular em áreas sob sistemas de cultivo conservacionista parece ser um valor inadequado (SERAFIM et al., 2008). Valores de RP próximos a 2 MPa podem ser limitantes se houver uma camada completamente compactada, como em experimentos realizados em vasos; porém, é necessário considerar que o solo, em sua heterogeneidade natural, possibilita fissuras e espaços para o crescimento e colonização das raízes (AZEVEDO, 2008). Portanto, a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco (ASSIS et al., 2009). Em condições de maior teor de água no solo, pode haver crescimento radicular em valores de resistência do solo à penetração superiores a 4 MPa (DEXTER, 1987).

Os diferentes usos do solo influenciaram os valores da densidade do solo ( $D_s$ ) do LVef, na camada de 0,00–0,10 m (Tabela 3), onde o uso SMS apresentou menor valor de  $D_s$ , quando comparado ao uso S, decorrente da maior porosidade

total (PT) proporcionada pelo uso SMS em relação a S, nessa camada (Tabela 3). Assim, a sequência de culturas soja/milheto/soja contribuiu para a redução da Ds, confirmando o efeito positivo do sistema radicular do milho e das gramíneas em geral para a melhoria da qualidade física do solo.

No LVw, os diferentes usos do solo não modificaram significativamente os valores da Ds (Tabela 4). Os valores de Ds no LVw foram estatisticamente superiores aos do LVef em todas as camadas avaliadas (Tabela 5). Isso pode ser explicado pela textura, pois, solos com maior teor de areia apresentam naturalmente uma menor porosidade total, conseqüentemente, maior densidade do solo. Luca et al. (2008) observaram aumento da Ds com o aumento do teor de areia dos solos Latossolo Vermelho distroférico ( $Ds = 1,32 \text{ Mg m}^{-3}$ ), Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico ( $Ds = 1,59 \text{ Mg m}^{-3}$ ) e Neossolo Quartzarêncio ( $Ds = 1,58 \text{ Mg m}^{-3}$ ).

Os diferentes usos do solo não modificaram significativamente os valores de macroporosidade (Mac) do LVef, mas modificaram os valores da microporosidade (Mic) na camada de 0,10–0,20 m e da porosidade total (PT) na camada de 0,00–0,10 m (Tabela 3). No LVw, não influenciaram os valores da Mac e da Mic, mas influenciaram os valores da PT na camada de 0,10–0,20 m (Tabela 4). Entretanto, as diferenças significativas observadas para esses atributos foram pequenas, da ordem de décimos da unidade e, provavelmente, não alteraram o desenvolvimento da cultura.

Nos dois solos avaliados (LVef e LVw), os valores de Mac foram abaixo do recomendado por Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010). Segundo os autores, para permitir as trocas gasosas e o crescimento da raiz da maioria das culturas de sequeiro, a Mac deve ser maior do que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Entretanto, os valores da Mac observados nesse trabalho estão de acordo com alguns autores que também encontraram valores de Mac abaixo deste limite. Baquero et al. (2012) ressaltaram que, em função do número de colheitas da cana, a Mac tende a reduzir abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Centurion et al. (2007) também concluíram que o tempo de cultivo da cana-de-açúcar proporcionou aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade e porosidade total tanto no Latossolo Vermelho caulínico (argila =  $334 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0,00–0,10 m) como no Latossolo Vermelho caulínico-oxidico (argila =  $488 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0,00–0,10 m).

Pela análise das curvas de retenção de água dos solos (Figura 2), observaram-se, no terço médio das curvas, semelhantes conteúdos de água retida no LVef independentemente dos usos. Já no LVw, o uso com um cultivo de soja (S), com menor número de operações agrícolas, no período de reforma do canavial, proporcionou valores do conteúdo de água no solo superiores aos usos que tiveram dois cultivos de soja (soja/milheto/soja, soja/crotalária/soja, soja/pousio/soja). Possivelmente isso ocorreu devido a menor influência do número de operações sobre os atributos do solo em S, conforme discutido anteriormente para outros atributos. Entretanto, os valores do conteúdo de água no solo, para todas as tensões avaliadas, foram superiores no LVef (argila = 680 g kg<sup>-1</sup>) quando comparado ao LVw (argila = 440 g kg<sup>-1</sup>). Isso pode ser explicado pelo fato do conteúdo de água no solo estar relacionado com a textura do solo, conforme observado por outros autores. Silva et al. (2008), em trabalho realizado com Latossolo Vermelho distrófico e com Latossolo Vermelho eutroférico, salientaram a influência do teor de argila na retenção de água no solo. Jorge, Corá e Barbosa (2010) observaram que, quanto maior o teor de argila, maior o conteúdo de água retido no solo.

Os teores foliares de macro e micronutrientes avaliados na cana-de-açúcar cultivada no LVef e LVw, encontraram-se na faixa de valores considerados adequados por Raji et al. (1997), com exceção do boro que ficou um pouco abaixo do limite mínimo no dois solos (Tabela 6). Esses valores indicam que os diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, proporcionaram condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura.

Tabela 6. Concentrações foliares dos macros e micronutrientes da cana-de-açúcar cultivada no Latossolo Vermelho eutroférico e no Latossolo Vermelho ácrico.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- g kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
Latossolo Vermelho eutroférico										
23,55	2,23	15,18	5,02	1,81	2,14	8,00	7,15	75,45	86,10	20,95
Latossolo Vermelho ácrico										
23,83	2,52	13,46	3,17	1,78	1,61	6,55	7,45	84,70	33,10	18,35
Faixa ideal (RAJI et al., 1997)										
18-25	1,5-3,0	10-16	2,0-8,0	1,0-3,0	1,5-3,0	10-30	6-15	40-250	25-250	10-50

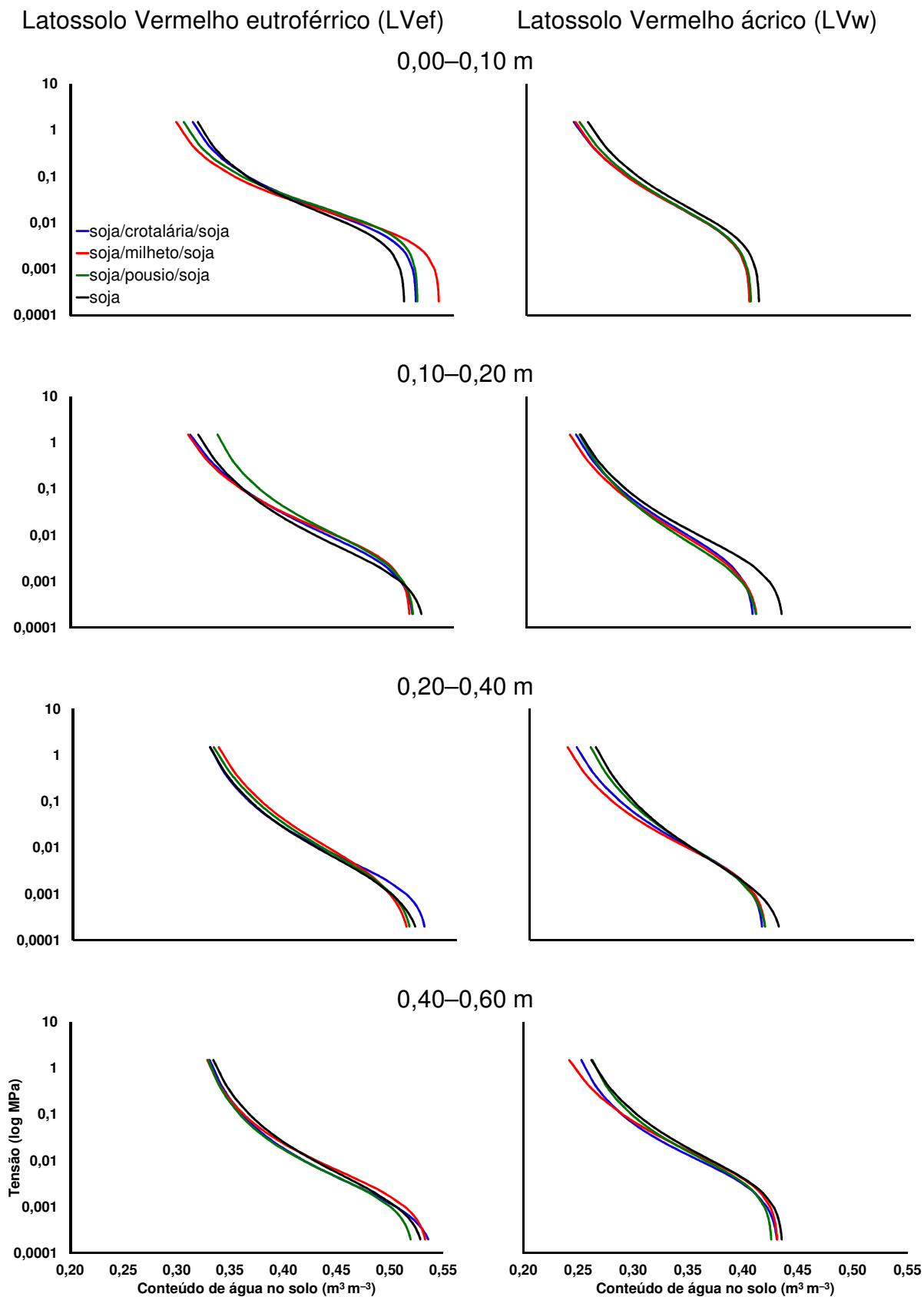


Figura 2. Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho eutroférico e do Latossolo Vermelho ácrico, após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Os diferentes usos do solo não alteraram significativamente os valores da produtividade, da produtividade acumulada e do açúcar total recuperável (Tabela 7), nos dois cortes da cana-de-açúcar, do LVef (ambiente de produção A) e do LVw (ambiente de produção C). Segundo os padrões adotados como referência pelo Centro de Tecnologia Canavieira, citado por Benedini e Bertolani (2008), a produtividade da cana para ambientes de produção A deve ser maior ou igual a 95 Mg ha<sup>-1</sup> (média de 4 cortes) e, para ambientes de produção C deve estar entre 85 e 90 Mg ha<sup>-1</sup> (média de 4 cortes). Assim, os valores nos dois solos encontram-se acima dos padrões adotados como referência. Isso demonstra que mesmo com alguns atributos do solo apresentando valores dentro de padrões considerados críticos na literatura, não se observou redução da produtividade. Dessa forma, considerando a planta como o principal sensor de qualidade do solo, os valores dos atributos físicos encontrados para a cana-de-açúcar, nas condições do presente estudo, não foram limitantes ao desenvolvimento e à produtividade da cultura.

Roque et al. (2010) também não observaram redução da produtividade da cana-de-açúcar decorrente da compactação proporcionada pelo sistema de manejo adotado (colheita mecanizada tradicional, corte mecanizado com controle de tráfego e corte mecanizado com controle de tráfego e uso do piloto automático). Secco et al. (2004), avaliando um Latossolo Vermelho distroférrico, cultivado sob plantio direto e rotação de culturas, observaram que níveis elevados de compactação prejudicaram os atributos físicos do solo, mas não a produtividade da soja. Isso sugere que o grau de compactação encontrado por esses autores não havia alcançado um estado crítico que reduzisse o crescimento e a produtividade da cultura, ou que, embora compactado, o sistema apresenta propriedades que compensam a compactação, como, por exemplo, os poros contínuos formados pelos cultivos anteriores (BOUMA, 1991).



Tabela 7. Produtividade, produtividade acumulada e açúcar total recuperável nos anos de 2011 e 2012 da variedade cultivada em cada tipo de solo.

Usos do solo	Produtividade			Açúcar total recuperável	
	2011	2012	Acumulada	2011	2012
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----			----- kg Mg <sup>-1</sup> -----	
Latossolo Vermelho eutroférico					
soja	149,68	97,03	246,71	144,01	140,56
soja/pousio/soja	157,88	131,63	289,51	142,99	135,28
soja/milheto/soja	147,93	108,40	256,33	146,58	139,78
soja/crotalária/soja	148,58	98,36	246,94	137,95	139,76
F <sup>(1)</sup>	0,57 <sup>NS</sup>	1,44 <sup>NS</sup>	2,28 <sup>NS</sup>	2,51 <sup>NS</sup>	1,22 <sup>NS</sup>
CV (%)	9,11	27,36	11,54	3,57	3,51
Latossolo Vermelho ácido					
soja	140,35	98,70	239,05	147,70	143,08
soja/pousio/soja	145,83	129,40	275,23	147,20	145,77
soja/milheto/soja	134,00	111,06	245,06	137,46	144,33
soja/crotalária/soja	150,51	114,33	264,84	137,92	145,35
F <sup>(1)</sup>	0,88 <sup>NS</sup>	1,34 <sup>NS</sup>	1,31 <sup>NS</sup>	3,21 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>
CV (%)	11,91	21,48	12,89	4,93	3,34

(1) NS = não significativo.

## 5. CONCLUSÕES

Os diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, não influenciaram os atributos químicos, avaliados após o primeiro corte da cana-de-açúcar, do Latossolo Vermelho eutroférico e do Latossolo Vermelho ácrico.

A sequência de culturas soja/milheto/soja, usada durante o período de reforma do canavial, no Latossolo Vermelho ácrico, favoreceu a agregação do solo.

Os diferentes usos do solo, no período de reforma do canavial, não influenciaram a produtividade e o açúcar total recuperável das variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Latossolo Vermelho eutroférico e no Latossolo Vermelho ácrico.

## 6. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I – Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 739-749, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. C.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 810-818, 2011.

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. B.; ARÉVALO, R. A.; SCHAMMAS, E. A.; ARCARO JÚNIOR, I.; FOLTRAN, D. E. **Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto**. Potafos. Piracicaba, 2005, 16 p. (Informações Agronômicas, 112).

AMBROSANO E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; CANTARELLA, H.; MURAOKA, T.; CAMARGO, L. F.; MOTA, B.; Adubos verdes e amendoins cultivados em rotação com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 4.; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 2., 2009, Curitiba. **Resumos**. p. 373-377.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANGAS, K. P. CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

BAQUERO, J. E.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxiso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 63-70, 2012.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo vermelho na sucessão milho-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 393-4, 2008.

BENEDINI, M. S.; BERTOLANI, F. C. Carta de solos e ambientes de produção. **Revista Coplana**, Guariba, v. 6, n. 45, p. 24-25, 2008.

BOLONHEZI, D. Uso de adubos verdes na renovação do canavial. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO A.S. (Eds.). **Expansão e Renovação de Canavial**. Piracicaba: CP 2, 2007. p. 159-174.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Soil Science**, v. 46, p. 1-37, 1991.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F., PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, L. A.; NETO, V. J. M; SILVA, L. F.; PEREIRA, J. G.; NUNES, W. A. G. A.; CHAVES, C. H. C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS. **Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 7-22, 2008.

CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1141-1148, 2004.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 199-209, 2007.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S., VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 163-171, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2012**. Brasília, 2012. 18 p.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL, DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECAN. **Manual de Instruções**. Piracicaba, 2003. 116 p.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I-atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 589-602, 2011.

DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, n. 3, p. 303-312, 1987.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 723-732, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p. (Documentos, 1).

FERNANDES, C.; CORA, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two Latosols (oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 283-294, 2012.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. Part. 4, p. 201-228. (Book Series, 5).

JORGE, R. F.; CORA, J. E.; BARBOSA, J. C. Número mínimo de tensões para determinação da curva característica de retenção de água de um latossolo vermelho eutrófico sob sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1831-1840, 2010.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1. p. 635-662.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA.  
**Culturas:** cana-de-açúcar. Disponível em:  
<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; MARTINS, M. R.; JORGE, R. F. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 417-428, 2009.

MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbono sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 32, p. 361–369, 2000.

MARTINS, M. R.; ANGERS, D. A.; CORÁ, J. E. Carbohydrate Composition and Water-Stable Aggregation of an Oxisol as Affected by Crop Sequence under No-Till. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, p. 475-484, 2012b.

MARTINS, M. R.; ANGERS, D. A.; CORÁ, J. E. Co-accumulation of microbial residues and particulate organic matter in the surface layer of a no-till Oxisol under different crops. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, V. 50, p. 208-213, 2012a.

MARTINS, M. R.; ANGERS, D. A.; CORÁ, J. E. Non-labile plant C contributes to long-lasting macroaggregation of an Oxisol. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 58, p. 153-158, 2013.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; COSTA, A. A.; ROSA, F. V.; COSTA, V. F. **Efeito residual de leguminosas sobre o rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1994, 15 p. (Boletim Científico, 32).

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J.H.; TOPP, G. C. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. Part 4, p. 317-328. (Book Series, 5).

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, Instituto Agronômico, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, p. 211-216, 1988.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

RODRIGUES, R. Cultura da soja em rotação com a cana-de-açúcar. In: PAINEL DE DEBATES CANA-DE-AÇÚCAR E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E FIBRAS, 1. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, p. 83-93, 1980.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.

SCANLON, B. R.; ANDRASKI, B. J.; BILSKIE, J. Miscellaneous methods for measuring matric or water potential. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C., (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 4. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p. 643-670. (SSSA Book Series, 5).

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.



SERAFIM, M. E.; VITORINO, A. C. T.; PEIXOTO, P. P. P.; SOUZA, C. M. A.; CARVALHO, D. F. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 654-665, 2008.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M.M.; CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, 1998.

SILVA, R. P.; FERNANDES, C.; TRUBER, P. V. Plantas de Cobertura e Atributos Físicos do Solo. In: FERNANDES, C. (Ed.). **Tópicos em Física do Solo**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012, cap. 4, p. 48-61.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 377-381, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SAENZ, C. M. S. Spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 245-253, 2009.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.V.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p. 237-239. (Boletim técnico, 100).

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 925-933, 2010.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

VAN GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, 2004.