

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MOBILIZAÇÃO DO SOLO NA SEMEADURA DO MILHO:
EMISSÃO DE CO₂ E DESEMPENHO DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS**

Rafael Scabello Bertonha

Engenheiro Agrônomo

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MOBILIZAÇÃO DO SOLO NA SEMEADURA DO MILHO:
EMISSÃO DE CO₂ E DESEMPENHO DE MÁQUINAS
AGRÍCOLAS**

Rafael Scabello Bertonha

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani
Co-orientador: Prof. Dr. David Lee Wright**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

B547m Bertonha, Rafael Scabello
Mobilização do solo na semeadura do milho: emissão de CO₂ e desempenho de máquinas agrícolas. / Rafael Scabello Bertonha. -- Jaboticabal, 2015
vi, 82 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Co-orientador: David Lee Wright
Banca examinadora: Rouverson Pereira da Silva, Marcílio Vieira Martins Filho, José Maria do Nascimento e Carlos Alessandro Chioderoli.
Bibliografia

1. Solo mobilizado. 2. Haste sulcadora. 3. Máquinas agrícolas. 4. Plantio direto. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.311

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

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RAFAEL SCABELLO BERTONHA – Nascido no município de Araraquara, Estado de São Paulo, aos 20 dias do mês de março do ano de 1987 e registrado no cartório de Dobrada-SP como filho de Martemir Gilberto Bertonha e Maria Cristina Leite Scabello Bertonha. Reside desde seu nascimento na cidade de Dobrada-SP, onde na infância ajudou o pai na antiga farmácia e nos Centros de Formação de Condutores de Dobrada e Matão-SP. cursou o Ensino Fundamental e Ensino Médio em Escolas Municipais e Estaduais dos municípios de Dobrada e Matão, concluindo estes em dezembro de 2004. Em fevereiro de 2005 iniciou o curso de Engenharia Agrônoma pelo Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior - ITES, na cidade de Taquaritinga-SP, concluindo-o em Dezembro de 2008, sendo integrante da 2ª Turma de Engenharia Agrônoma, recebendo o grau de Engenheiro Agrônomo em 30 de janeiro de 2009. Durante a graduação participou de trabalhos e eventos culturais na cidade de Taquaritinga-SP e de estágios em empresas como Coopercitrus, Cutrale, Jumil e eventos como Agrishow. Realizou também estágios no setor de Topografia e Sensoriamento Remotos, e no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola, ambos situados no Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP. Em março de 2009 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) e recebeu o Título de Mestre em Fevereiro de 2011. No mês seguinte deu início ao Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo pela UNESP/FCAV e trabalhou como professor de Agronomia pelo mesmo Instituto em que obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Realizou estágio sanduíche durante nove meses no Centro de Pesquisa do Norte da Flórida pela Universidade da Flórida e em Janeiro de 2015 recebeu o título de Doutor em Agronomia – Ciência do Solo.

AGRADEÇO

À Deus, por realizar meus sonhos e sempre me guiar em Seu caminho.

Aos meus pais, por me apoiarem em todos os momentos da minha vida

e à minha maravilhosa esposa pelo carinho, companheirismo, paciência e
amor a mim dedicado durante toda esta trajetória,

DEDICO

Aos meus pais Gilberto e Cristina,

À minha esposa Ana Carolina

Ao meu sogro Luiz (*in memoriam*) e a minha sogra Aparecida

Aos meus irmãos Rodrigo e Roberta,

A todos os meus cunhados,

Às minhas madrinhas Tia Celina e Tia Rita,

Às minhas sobrinhas Sara, Ester, Giulia e Isabela,

E a todos os tios, tias, primos e primas,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani pelo acolhimento, atenção, orientação, incentivo, ensinamentos durante a realização do trabalho, amizade e também por confiar e acreditar nos desafios que eu quis enfrentar e vencer.

Aos pesquisadores, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva e Prof. Dr. Newton La Scala Júnior pelos conselhos, ajuda e grandes contribuições no doutorado e amizade.

Ao pesquisador, Prof. Dr. David L. Wright pelo acolhimento, atenção, ajuda, orientação e amizade durante o estágio de Doutorado nos Estados Unidos.

Ao Diretor do Centro de Pesquisa e Educação do Norte da Flórida Dr. Nick Comerford pela recepção, acolhimento, apoio e amizade.

Ao pesquisador, Prof. Dr. José Maria do Nascimento pelas orientações, conselhos e companheirismo desde nossa moradia em Jaboticabal.

Aos pesquisadores e professores Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissara, Dr. Rogério Teixeira de Faria, Dr. Adhemar Pitelli Milani, Dra. Denise Mahl e Dr. Kléber Pereira Lanças pela grande ajuda e incentivo do estágio de doutorado nos EUA.

Aos membros da comissão examinadora da defesa da tese pelos conselhos, ensinamentos e pela grande contribuição na correção da tese.

Ao Departamento de Engenharia Rural que me acolheu desde minha graduação.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, UNESP, Campus de Jaboticabal pelo acolhimento e colaboração em todos os momentos.

Aos alunos de pós-graduação e graduação do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola pela ajuda na coleta de dados em campo e amizade.

Aos assistentes do LAMMA, Aparecido Alves, Sebastião F. da Silva, Valdecir Aparecido e aos assistentes e alunos do Centro de Pesquisa e Educação do Norte da Flórida Kelly O'Brien, Maynard Douglas, Família Bolton, Debby, Chuck, Dra. Sheeja George, Dra. Christine Bliss, pela colaboração na realização dos trabalhos e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsa para realização do curso e estágio no exterior.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1.1 Introdução	1
1.2 Revisão de Literatura	3
1.2.1 Sistemas de preparo do solo.....	3
1.2.2 Desempenho operacional de máquinas.....	4
1.2.3 Ferramentas para abertura do sulco	6
1.2.4 A cultura do milho.....	7
1.2.5 Mobilização do carbono no solo	9
1.2.6 Referências bibliográficas	10
CAPÍTULO 2 – Desempenho do trator e desenvolvimento do milho em função da haste sulcadora e profundidade de trabalho	16
Introdução	17
Resultados e discussão	18
Materiais e métodos.....	26
Conclusões	30
Agradecimentos	31
Referências.....	31
CAPÍTULO 3 – Profundidade e teor de água críticos na semeadura de milho em Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto	35
1. Introdução	35
2. Materiais e métodos.....	38
3. Resultados e discussão	43
4. Conclusões	52
Agradecimentos	52
Referências.....	53
Nomenclaturas.....	55

CAPÍTULO 4 – Mobilidade do carbono, desenvolvimento do milho e desempenho do trator em função da mobilização do solo em franco-arenoso Dothan	56
Introdução	57
Materiais e métodos	59
Resultados e Discussão.....	63
Conclusões	76
Agradecimentos	77
Referências	77
CAPÍTULO 5 – Considerações finais	81

MOBILIZAÇÃO DO SOLO NA SEMEADURA DO MILHO: EMISSÃO DE CO₂ E DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

RESUMO – Os sistemas de preparo do solo para implantação de culturas de grão são de grande importância, desde o desenvolvimento da cultura e desempenho de máquinas agrícolas até a conservação do solo e da água. Assim, para o produtor que deseja implantar culturas de grãos, faz-se necessário o conhecimento prévio do solo que se irá trabalhar, o tipo de ferramenta para prepará-lo, a máquina ideal para o aproveitamento de potência e a contribuição ao meio ambiente que o preparo de solo escolhido irá propiciar. Neste trabalho foram realizados três estudos que tiveram como objetivos avaliar a emissão de CO₂ do solo, o desempenho de máquinas agrícolas e o desenvolvimento da cultura do milho em função da quantidade de solo mobilizado por hastes sulcadoras em sistema plantio direto e hastes subsoladoras em sistemas de preparo localizado do solo. No primeiro estudo foram utilizadas três hastes sulcadoras (H1: inclinada com ângulo de ataque de 17°; H2: reta, com ponteira inclinada e ângulo de ataque de 29° e H3: parabólica e ângulo de ataque de 27°) e cinco profundidades de trabalho (5,5; 9,0; 12,5; 16,0 e 19,5 cm). No segundo estudo utilizou-se a haste H1 em três profundidades de trabalho (9,0; 12,5 e 16,5 cm) e quatro teores de água do solo (TAS 1, 2, 3 e 4), estando o solo mais seco no TAS1 e mais úmido no TAS4. Ambos estes estudos em Latossolo Vermelho eutroférico e sistema plantio direto com mais de 8 anos localizados na região de Jaboticabal-SP-Brasil. Para o terceiro estudo utilizou-se uma haste subsoladora em três profundidades de preparo localizado do solo, conhecido também como preparo em faixas (strip-tillage) nas profundidades de 26, 32 e 38 cm, em solo franco-arenoso Dothan, localizado no norte da Flórida (Estados Unidos da América). Para o primeiro estudo, a geometria da haste sulcadora afetou diretamente a mobilização do solo, o desempenho da máquina e o desenvolvimento da cultura. No entanto, sugere-se a haste inclinada com ângulo de ataque de 17°, trabalhando na maior profundidade, pois esta combinação proporcionou o menor consumo de combustível por volume de solo mobilizado, sem redução de produtividade das culturas. Para o segundo estudo, a haste sulcadora mobilizou mais o solo nas maiores profundidades, porém, este aumento não foi proporcional a partir do TAS3,

considerando-o como o limite de teor de água do solo para implantação de culturas em Latossolo Vermelho eutroférico com 12 anos de sistema plantio direto. Devido ao aumento de solo mobilizado, a profundidade crítica para este solo foi de 16,6 cm, com relação de 7,9 vezes a espessura da ponteira. A produtividade, biomassa e estande final da cultura do milho não foram afetados pelos tratamentos. O consumo de combustível do trator foi menor com a haste sulcadora trabalhando a 16,5 cm de profundidade no TAS4. Para o terceiro estudo, quanto maior a profundidade de preparo localizado do solo, maior é a área de solo mobilizado e ângulo do sulco, porém, sem diferença na largura. Nos primeiros dias após o preparo localizado, o solo apresentou maior emissão de CO₂ em área mobilizada, com quantidades expressivas para os dias 1 e 2 após o preparo do solo. O solo não mobilizado com resíduos da cultura de cobertura sobre sua superfície apresentou os maiores valores de emissão total de CO₂, os quais foram superiores aos das áreas de solo mobilizado sem resíduos. Em solo franco-arenoso Dothan, mesmo utilizando a maior profundidade de preparo localizado do solo, o consumo de combustível não se altera, tampouco a patinação dos rodados do trator.

PALAVRAS-CHAVE: área de solo mobilizado, haste sulcadora, máquinas agrícolas, plantio direto, preparo localizado, desempenho operacional, carbono no solo.

SOIL DISTURBANCE IN CORN SEEDING: CO₂ EMISSION AND PERFORMANCE OF AGRICULTURAL MACHINES

ABSTRACT – The soil tillage systems for grain crops deploying are of great importance, since crop development and performance of agricultural machinery to the soil and water conservation. Therefore, for the producer who want to cultivate grain crops, he needs before to get knowledge about soil, the tool type to prepare it, the ideal machine for the power utilization and the contribution to the environment that soil tillage system chosen will provide. This study carried out three experiments that the aim was to evaluate the soil CO₂ emission, the performance of agricultural machines and the corn crop development as a function of the disturbed soil amount by furrow opener hoe type in no-tillage system and subsoiler opener in strip-tillage system. In the first study we used three planter furrow opener hoe type (H1: inclined at 17° rake angle; H2: straight, with inclined tip and 29° rake angle and H3: parabolic and 27° rake angle) and five working depths (5.5, 9.0, 12.5, 16.0 and 19.5 cm). In the second study we used the H1 opener in three working depths (9.0, 12.5 and 16.5 cm) and four water content of the soil (WCS 1, 2, 3 and 4), it being dryer in WCS1 and wetter in WCS4. Both of these studies was carried out in eutroferric Red Latosol and no-tillage system with more than 8 years (Jaboticabal city, São Paulo, Brazil). In the third study we used a subsoiler opener at three working depths (26.0, 32.0 and 38.0 cm) in strip-tillage system, in a Dothan sandy loam (north Florida, USA). For the first study, the geometry of the opener directly affected soil disturbance, machine performance and the crop development. However, we suggested that the inclined opener with 17° rake angle, working at greater depths, because this combination presented lower fuel consumption per volume of disturbed soil without reducing crop yields. For the second study, the opener disturbed more soil at greater depths, but this increase was not proportional from the WCS3, considering it as the limit of water content of the soil for crop planting in eutroferric Red Latosol following 12 years of a no-tillage system. Owing to the increase of soil disturbance, the critical working depth for this soil type was 16.6 cm, 7.9 times the tip thickness. There was a decrease of cover crop and soil return to the furrow after planting when the opener was operated under wetter soil conditions. Corn grain yield, biomass, and final stand of plants were

not affected by working depth or water content of the soil. The fuel consumption of the tractor was lowest with the opener operated at 16.5 cm depth in WCS4. For the third study, in the early days after strip-tillage, the soil presented greater CO₂ emission in disturbed soil, with significant amounts for days 1 and 2 after tillage. The cover crop residues on non-disturbed soil showed the highest total emission of CO₂, being higher than areas of disturbed soil without residues on the surface. The Pioneer corn crop stabilized in the cycle begin faster than Croplan in strip-tillage at 32 cm depth, but showed lower initial stand and the lowest corn grain yield. In Dothan sandy loam soil, even using the greatest strip-tillage depth, fuel consumption does not change, either slipping wheels of the tractor.

KEY WORDS: soil area mobilized, furrow opener, agricultural machines, no-tillage, strip-tillage, operational performance, soil carbon.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Introdução

A geometria de mecanismos para abertura do sulco de semeadura não apresenta padrões, normas, muito menos especificações para cada textura e condição de solo, sendo este um fator imprescindível para que as culturas apresentem altas produtividades e para que as máquinas manifestem desempenho satisfatório durante a implantação das culturas, ou seja, baixo consumo de combustível e menor demanda de força e potência do trator.

No momento da passagem dos mecanismos de abertura do sulco, o solo deve estar em um teor de água aceitável, pois se estiver elevado, o desempenho operacional do trator e a produção de grãos das culturas podem ser prejudicados.

O motivo disso se deve ao fato do solo com teor de água elevado prejudicar a mobilização na fileira de semeadura, aumentando a força de tração e consumo de combustível, impossibilitando também que as raízes das plantas cheguem até a água e ao nutriente com maior facilidade.

Outra característica muito importante é o estudo da emissão de gases causadores do efeito estufa, emitidos do solo para a atmosfera durante as operações de preparo.

Para o produtor que deseja implantar culturas de grãos, antes necessita-se do conhecimento do solo que se irá trabalhar, o tipo de ferramenta para prepará-lo, a máquina ideal para o aproveitamento de potência do trator e a contribuição ao meio ambiente que o preparo de solo escolhido irá propiciar.

O sistema plantio direto (SPD) é um sistema de preparo conservacionista que consiste do manejo do solo apenas na fileira de semeadura, realizado por hastes sulcadoras ou discos. Outro sistema conservacionista do solo é o preparo localizado (SPL), que consiste do uso de hastes subsoladoras que mobilizam o solo apenas na fileira de semeadura em maiores profundidades e maior quantidade de solo mobilizado do que as hastes sulcadoras em SPD, mantendo também boa parte dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

A utilização de hastes sulcadoras em SPD é uma opção para se obter maiores produtividades de grãos, pois esta ferramenta é capaz de mobilizar e preparar localizadamente o sulco de semeadura, auxiliando no melhor

desenvolvimento radicular das plantas, aumentando a produtividade da lavoura, capaz também de manter a matéria orgânica do solo estruturada. Este tipo de preparo é caracterizado pela única operação após a colheita da cultura antecessora, não havendo a necessidade de mais operações para preparar o solo, pois a semeadora equipada com ferramentas para SPD apresentam todos os componentes necessários para o preparo e implantação das sementes.

No sistema de preparo localizado do solo, as hastes subsoladoras têm a mesma função das hastes sulcadoras de SPD (preparar o solo somente na fileira de semeadura), porém, seu comprimento é maior, podendo alcançar profundidades acima 30 cm, conseqüentemente, um aumento considerável da mobilização do solo, sendo capaz de romper a camada compactada.

O SPL se enquadra no sistema de preparo reduzido do solo, pois na maioria das situações há a necessidade de duas operações: a do preparo localizado e, posteriormente, a de semeadura.

Nos Capítulos 2 e 3 deste trabalho, foram estudadas a geometria de hastes sulcadoras em sistema plantio direto, o teor de água do solo no momento da implantação da cultura de grãos e a profundidade de trabalho destas hastes, considerando que a mobilização do solo pode ser alterada em função destes fatores, conseqüentemente, podendo haver alterações no desempenho do trator durante operações agrícolas e no desenvolvimento das culturas de grãos.

No Capítulo 4 foram estudadas profundidades de trabalho em preparo localizado do solo, realizado por haste subsoladora, pois estes fatores podem interferir no desempenho do trator durante o preparo da fileira de semeadura, no desenvolvimento de culturas de grãos, bem como na emissão de gases do efeito estuda que causam o aquecimento global.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a emissão de CO₂ do solo, o desempenho de máquinas agrícolas e o desenvolvimento da cultura do milho em função da geometria de hastes sulcadoras em sistema plantio direto, hastes subsoladoras em sistema de preparo localizado do solo e profundidades de trabalho.

1.2 Revisão de Literatura

1.2.1 Sistemas de preparo do solo

Os sistemas de conservação do solo são aqueles em que o solo é manejado com preparo mínimo ou reduzido, podendo ser chamado também de preparo localizado (strip-tillage) e sistema plantio direto (SPD), que consistem da mobilização do solo por hastes ou discos, apenas na fileira de semeadura, logo após a colheita da cultura antecessora.

No SPD a semente é depositada diretamente no solo sob a palha da cultura anterior e são permitidos apenas 15-25% de mobilização superficial do solo e remoção de resíduos (NRCS, 2008). Considera-se como preparo conservacionista do solo, práticas agrícolas que não mobilizem mais que 67% dos resíduos de superfície do solo (CTIC, 2010; LAL, 1997).

O SPD é um sistema de cultivo que tem como objetivos manter a cobertura permanente do solo, reduzir a mobilização, a desestruturação e a erosão causada pela água durante o período das chuvas (GARCIA e RIGHES, 2008). É caracterizado também pela menor intensidade de mobilização do solo e pela redução da frequência de tráfego de máquinas sobre o terreno e por manter sobre a superfície do mesmo uma quantidade maior de massa vegetal (FURLANI et al., 2007), podendo recuperar a estrutura do solo, mantendo, dessa forma, o sistema agrícola mais produtivo, sendo considerado como sistema conservacionista (STRECK et al., 2004).

A operação para descompactação do solo em camadas profundas é chamada de subsolagem (SRIVASTAVA et al., 1993), uma vez que é realizada, normalmente, entre as profundidades de 30 e 40 cm mas, em alguns casos, pode atingir até 60 cm (NICHOLS e REAVES, 1958). Ressaltasse que, ao escolher este tipo de operação agrícola para implantação de culturas de grãos, há a necessidade de outras operações posteriores à subsolagem: o de destorroamento/nivelamento do solo e a de semeadura.

O preparo reduzido do solo é uma das práticas agrícolas mais eficazes para reduzir a emissão de CO₂ e sequestrar o carbono atmosférico no solo em relação ao preparo periódico do solo (KERN e JOHNSON, 1993; CURTIN et al., 2000; AL-KAISI e YIN, 2005). Estudos mostraram que a diminuição da intensidade do preparo reduz

a mobilização do solo e as atividades microbianas, reduzindo assim a emissão de CO₂ (LAL e KIMBLE 1997; CURTIN et al. 2000), além de manter boa parte dos resíduos vegetais sobre o solo.

O preparo localizado do solo (SPL) se enquadra no sistema reduzido do solo. Ele é realizado por hastes subsoladoras que atuam apenas na fileira de semeadura e pode ser benéfico para a melhoria em longo prazo da qualidade do solo, controle de erosão e proteção do ambiente (MORRISON, 2002; LUNA e STABEN, 2003). Este tipo de sistema de preparo é semelhante ao SPD, porém no SPL as hastes (subsoladoras) atuam em profundidades maiores que no SPD, sendo capaz de romper camadas de solo profundas. Entretanto, há a necessidade de duas operações: a de preparo do solo em fileira e a de semeadura, sendo esta realizada na mesma fileira de solo mobilizado pelas hastes subsoladoras.

De acordo com Celik et al. (2013), o SPL é uma prática de conservação em que apenas as fileiras de semeadura são preparadas, geralmente, totalizando menos de 50% de área mobilizada.

1.2.2 Desempenho operacional de máquinas

A avaliação do desempenho de semeadoras é uma ferramenta indispensável aos produtores que buscam competitividade de mercado e sucesso da produtividade. As falhas de semeaduras podem acarretar perdas na produtividade um fator indesejável na população final. Diversos fatores podem interferir na operação de semeadura, o que pode estar relacionado à semente, solo, máquina, clima e operador (BALASTREIRE, 2005).

Montanha et al. (2011) relataram que a intensificação de atividades mecanizadas na agricultura acarreta em maiores gastos energéticos nas propriedades rurais, principalmente no consumo de combustível dos tratores agrícolas.

A relação entre força de tração e grau de compactação pode ser modificada quando do uso de hastes e ponteiras com geometrias diferentes ou mediante a alteração da profundidade de atuação. Esses são alguns dos fatores que influenciam a tração e grau exigido pelas hastes sulcadoras (CONTE et al., 2007).

O uso do sistema de abertura de sulcos para deposição de fertilizante do tipo haste sulcadora aumenta as exigências de força de tração, o consumo de combustível (horário e específico) e o índice de patinação, em relação ao sistema de abertura de sulcos do tipo discos duplo (SANTOS et al., 2008).

Silva e Benez (2005) observaram que semeadoras-adubadoras equipadas com haste sulcadora, podem demandar 97,4% mais força na barra de tração do que se fossem equipadas com sulcador tipo disco duplo.

Levien et al. (1999) encontraram valores de força de tração de 3,24 a 3,64 kN por fileira de semeadura em solo argiloso, os quais não diferiram significativamente entre os preparos do solo convencional, escarificação e semeadura direta. Os mesmos autores encontraram, ainda, que a necessidade de potência na barra para a operação de semeadura, no sistema de preparo convencional do solo, foi de 19,9 kW.

Levien et al. (2011) avaliaram dois tipos de mecanismos de abertura de sulco (haste e discos duplos). Eles verificaram que a maior mobilização do solo, pela haste sulcadora, é a provável explicação para que houvesse uma exigência maior de 32% na força média de tração, 60% nos picos de exigência de esforço na barra de tração e de 20% no consumo de combustível por área trabalhada, em relação ao uso do mecanismo do tipo disco.

De acordo com Conte et al. (2008), modelos de hastes diferiram em termos de requerimento de força de tração e isso poderia ser atribuído à maior profundidade de atuação das mesmas, bem como ao menor teor de água observado durante a sua avaliação.

Sasaki (2000) estudou a diferença para a profundidade efetiva de trabalho e a área de solo mobilizado, utilizando um subsolador, verificou que a haste reta-inclinada apresentou os melhores resultados quanto à demanda por força de tração e desempenho operacional. Segundo ele, as ponteiras com asa exigiram cerca de 20 % a mais de força de tração, 22% menos resistência específica operacional e mobilizaram 20 % mais solo do que as ponteiras sem asas, e que, com o aumento da profundidade de trabalho de 20 para 40 cm, houve um incremento da força de tração, da potência na barra de tração e da patinação.

1.2.3 Ferramentas para abertura do sulco

A avaliação de mecanismos sulcadores tem importância para o meio científico e para agricultores que buscam ferramentas de ótima eficiência (maior produtividade e melhor desempenho das máquinas) de acordo com as condições que cada solo apresenta. Assim, são vários os trabalhos que buscam essa eficiência, como maior produtividade de grãos e menor consumo de combustível durante a implantação das culturas, utilizando hastes (ALTIKAT et al., 2013; FURLANI et al., 2013; TROGER et al., 2012; AKBARNIA et al., 2010).

As variáveis do projeto e seleção da geometria apropriada para determinados implementos de preparo são: profundidade, largura e ângulo de inclinação (GODWIN, 2007).

A função da haste sulcadora no SPD deve ser a de mobilizar e descompactar o solo em subsuperfície, em profundidade e extensão estipuladas tecnicamente (CEPIK et al., 2005). Isto promove maior mobilização do solo com menor requerimento de esforço horizontal, atingindo as maiores profundidades de trabalho em relação ao mecanismo de disco (MION e BENEZ, 2008). Tais ações contribuem para uma menor resistência mecânica do solo à penetração (KOAKOSKI et al. 2007).

A informação sobre a avaliação de mecanismos de abertura de sulco para semeadoras de plantio direto auxilia as empresas no dimensionamento de ferramentas de abertura do solo, buscando menor exigência de energia (MION et al., 2009).

Algumas pesquisas indicam que o teor de água e o tipo de solo são as variáveis edáficas que mais influem nas operações de preparo de solo (BAVER et al., 1972; CASSEL, 1979; McKYES, 1985; SRIVASTAVA et al., 1993). Em geral, solos com teores de água elevados geram menor demanda por força de tração, apesar de não serem mobilizados adequadamente (BELTRAME, 1983; RIPOLI et al., 1985; SASAKI et al., 2002).

Sasaki e Gonçalves (2005) estudando haste subsoladora em três Latossolos sob diferentes teores de água, constataram que o desempenho operacional do subsolador foi melhor em teores mais baixos de água e, no geral, eles afirmaram que quando os teores de água estiveram entre 50 e 60% da capacidade de campo,

os rendimentos operacionais foram mais elevados e a qualidade técnica do preparo de solo mais adequada.

Celik et al. (2013) avaliaram a implantação da cultura do girassol em SPL e constataram que o comprimento e diâmetro do caule de plantas aumentou conforme se aumentou também a largura da faixa de preparo. Para a produtividade de grãos houve aumento com a largura da faixa, e concluíram que a eficiência do consumo de combustível do trator foi maior para a largura de 22,5 cm.

1.2.4 A cultura do milho

Estima-se que, em todo o mundo, já existam 106 milhões de hectares de culturas anuais implantadas, tendo crescimento significativo a cada ano em sistemas de agricultura conservacionista. Atualmente, a América do Sul tem a maior área de agricultura conservacionista com 49.586,900 ha (46,6% da área total mundial em agricultura conservacionista), seguido da América do Norte que corresponde a 37,5% do total (39.981.000 ha) (KASSAM et al. 2009).

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), citado por FIESP/DEAGRO (2014), a produção mundial de milho na safra 2013/14 foi de 989,2 milhões de toneladas, sendo os principais produtores Estados Unidos, China e o Brasil.

A cultura do milho tem um alto potencial produtivo, podendo alcançar alta produtividade de grãos tanto em condições experimentais como por agricultores que adotam tecnologias adequadas de manejo (PALHARES, 2003).

De acordo com Reinert et al. (2008), o milho apresenta bom desenvolvimento do sistema radicular em solos sem restrição, já em solos com densidades elevadas, o crescimento é consideravelmente menor, podendo se observar alterações morfológicas como engrossamento das raízes, desvios no crescimento vertical e a concentração na camada mais superficial do solo.

Foloni et al. (2003) observaram, em um Argissolo Vermelho distrófico típico com textura argilosa, que uma camada compactada, impede que o sistema radicular do milho atravesse e se desenvolva em profundidade.

Em experimento conduzido por Furlani et al. (1999), para semeadura de milho em diferentes sistemas de preparo do solo (convencional, reduzido e plantio direto)

concluíram que a produtividade de grãos foi maior no sistema de preparo de solo convencional, seguida pelo reduzido e plantio direto. Entretanto, Silva (2000), avaliando o comportamento de cultivares de milho, nos mesmos sistemas de preparo do solo, concluiu que não houve variação significativa da produtividade e da quantidade de matéria seca das plantas de milho.

Tolon-Becerra et al. (2011) avaliaram o índice de cone e a emergência de plântulas em três tipos de preparo do solo para implantação da cultura do milho. Eles constataram que a compactação do solo se eleva em sistema plantio direto e provoca menor rendimento da cultura, com perda de 10,7 à 15,2%.

Altuntas et al. (2006), avaliando o efeito de três tipos de mecanismos sulcadores, afirmam que as características de uma haste influenciam na germinação e emergência das culturas em diferentes condições de solo. Os autores complementam que o formato da haste sulcadora necessita de fatores que afetam seu desempenho favorecendo a qualidade da operação.

A profundidade de trabalho é outro fator que pode interferir na mobilização do solo, conseqüentemente, na produtividade das culturas. Assim, o aumento da profundidade de atuação das hastes sulcadoras é uma medida que também pode estimular o desenvolvimento radicular e reduzir os efeitos da compactação sobre a produtividade do milho (CONTE et al., 2009). Segundo Kaneko et al. (2010), o mecanismo de abertura de sulco do tipo haste, comparadas ao uso do disco duplo, pode favorecer o aumento da produtividade de grãos.

De acordo com Licht e Al-Kaisi (2005), o SPL pode contribuir eficazmente para melhorar o número médio de dias para emergência do milho, sendo semelhante a escarificação, uma vez que é capaz de conservar o teor de água do solo de forma eficaz em comparação com SPD.

Estudos apontaram à uniformidade de distribuição longitudinal de sementes como uma das características que mais contribuem para um estande adequado de plantas e, conseqüentemente, para a melhoria da produtividade das culturas.

Os parâmetros básicos utilizados para determinar a eficiência são: o coeficiente de variação geral de espaçamentos e a distribuição longitudinal de sementes, sendo eles a percentagem de espaçamentos normais, falhos e duplos (KURACHI et al., 1989). Assim, a distribuição desuniforme entre plantas é fator

prejudicial para a produtividade da cultura do milho, em virtude da concorrência entre plantas pela interceptação da radiação solar (PALHARES, 2003).

1.2.5 Mobilização do carbono no solo

As mudanças climáticas devido ao aumento da emissão de gases pelo homem causam modificações no regime hídrico e na temperatura global, influenciando diretamente a produtividade das culturas. Simulações sugerem que nas regiões de clima tropical haverá reduções mais acentuadas na produção agrícola (IPCC, 2001, 2007).

O manejo adequado do solo e da vegetação deve ter como premissa básica a utilização de métodos com o mínimo revolvimento do solo. Também devem utilizar sistemas de rotação/sucessão de culturas que incluam plantas com alta produção de resíduos vegetais e, ainda, plantas capazes de acumular nutrientes no solo, como a implantação de leguminosas nos sistemas de produção (CARVALHO et al., 2010).

O armazenamento de carbono orgânico em solos cultiváveis depende da quantidade, localização dos resíduos de culturas retornados e do sistema de preparo associado (ALLMARAS et al., 2000).

Streck (2005) compilou trabalhos que demonstraram que as plantas, de modo geral, aumentaram sua produção em 28 % em relação ao controle (concentrações atuais de CO₂ na atmosfera). Realizando uma estratificação do aumento na produção dessas plantas, os autores observaram incremento na ordem de 32% para cereais de ciclo fotossintético C3 (arroz, mandioca, cevada, etc.).

Outro fator que contribui para a variação nos teores de carbono do solo é o manejo de cobertura, especialmente, aquele que utiliza o revolvimento do solo antes da implantação de cada cultura, ou a incorporação de corretivos e fertilizantes, ocasionando intensa mobilização do solo, e estimulando a ação dos microrganismos decompositores (BAYER et al., 2000), bem como a temperatura e teor de água do solo. Além disso, as mobilizações física, química e biológica do solo contribuem para o aquecimento global e emissão de CO₂ (URQUIAGA et al., 1999), uma vez que a matéria orgânica do solo é o maior reservatório de carbono da superfície terrestre (SMITH, 2004).

A adoção de práticas agrícolas, incluindo o manejo conservacionista do solo, que aumenta a deposição de resíduos de plantas e ao mesmo tempo reduz a mobilização do solo, têm sido defendidas para ajudar a repor o carbono perdido do solo (PACALA e SOCOLOW, 2004; SPEROW et al., 2003).

Os benefícios do acúmulo de carbono no solo, além de esforços de mitigação das alterações climáticas, incluem maior produtividade de plantas, devido à retenção de água e nutrientes; a melhoria da qualidade do solo, do ar e da água (REICOSKY, 2001).

Desta forma, mudanças no ambiente do solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar a um rápido declínio deste reservatório, colaborando para o aumento das emissões de CO₂ (LAL e KIMBLE, 1997).

O revolvimento do solo, por exemplo, pode duplicar a perda de matéria orgânica em relação a um sistema de manejo sem revolvimento (BAYER et al., 2000). Porém, as diferentes frações que compõem a matéria orgânica e que possuem distintos graus de labilidade não são alteradas na mesma magnitude (FARIA, et al., 2008).

Para Allmaras et al. (2000), um ganho importante pode ocorrer em solos agrícolas quando se reduz do preparo secundário para apenas o preparo primário do solo, com a utilização de ferramentas de hastes, aproximando-se de um plantio direto. Para os autores, análises de tendências de adoção, com base em ferramentas de campo e da utilização de sistemas baseados em operações de campo, irão guiar na quantificação do carbono, sendo um benefício ao solo e à água.

1.2.6 Referências bibliográficas

AKBARNIA, A.; ALIMARDANI, R.; BAHARLOEYAN, S. Performance comparison of three tillage systems in wheat farms. **Australian Journal of Crop Science**. v.4, n.8, p.586-589, 2010.

AL-KAISI, M.M.; YIN, X. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in cron-soybean rotation. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 437-445, 2005.

ALLMARAS, R.R.; SCHOMBERG, H.H.; DOUGLAS JR., C.L.; DAO, T.H. Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. Croplands. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, n. 3, p. 365-373, 2000.

ALTIKAT, S.; CELIK, A.; GOZUBUYUK, Z. Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch. **Soil & Tillage Research**, v.126, p.72-77, 2013.

ALTUNTAS, E.; OZGOZ, E.; TASER, O.F.; TEKELIOGLU, O. Assessment of different types furrow openers using a full automatic planter. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.5, p.537-542, 2006.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2005. 310 p.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. Nova York: John Wiley, 1972. 498 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência Solo** v. 24, p. 599-607, 2000.

BELTRAME, L.F.S. Avaliação do desempenho de três subsoladores em Latossolo Vermelho escuro. **Engenharia Agrícola**, v.7, n.1, p.37-52, 1983.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.A.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo** v. 34, p. 277-289, 2010.

CASSEL, D.K. Subsoiling. **Crops and Soils Magazine**, v.32, p.7-10, 1979.

CELIK, A.; ALTIKAT, S.; WAY, T.R. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. **Soil & Tillage Research**, v. 131, p. 20-27, 2013.

CEPIK, C.T.C., TREIN, C.R., LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 447-457, 2005.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CEPIK, C.T.C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 220-228, 2007.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 730-739, 2008.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização do solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1254-1261, 2009.

CTIC - Conservation Technology Information Center. **What's conservation tillage?** Core4 Information Fact Sheet. West Lafayette, In: Conservation Technology Information Center 2p. 2010.

CURTIN, D.; WANG H.; SELLES F.; MCCONKEY, B.G.; CAMPBELL, C.A. Tillage effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations, **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 2080-2086, 2000.

FIESP – Fundação das Indústrias do Estado de São Paulo. Departamento de Agricultura. **Safra Mundial de Milho**. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>. Acesso em 15 novembro de 2014.

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.

FURLANI, C.E.A.; JÚNIOR A.P.; LOPES, A.; SILVA, R.P.; GROTTA, D.C.C.; CORTEZ, J.W. Desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.456-462, 2007.

FURLANI, C.E.A.; CANOVA, R.; CAVICHIOLI, F.A.; BERTONHA, R.S.; SILVA, R.P. Demanda energética por semeadora-adubadora em função da haste sulcadora na semeadura do milho. **Revista Ceres**, v.60, 2013.

GARCIA, S.M.; RIGHES, A.A. Vertical mulching e manejo da água em Semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 p.833-842, 2008.

GODWIN, R.J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil & Tillage Research**, v.97, p.331–340, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: The scientific basis**. Cambridge, Cambridge University, 2001. 881p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 125-133, 2010.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; SHAXSON, F.; PRETTY, J. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v.7, p.292-320, 2009.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels, **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.200-210, 1993.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v. 48, n. 2, p. 249-62, 1989.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. **Soil and Tillage Research**, v.43, p.81-107, 1997.

LAL, R.; KIMBLE, J.M. Conservation tillage for carbon sequestration. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.49, p.243-253, 1997.

LEVIEN, R.; MARQUES, J.P.; BENEZ, S.H. Desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em semeadura de milho (*Zea mays* L.), sob diferentes formas de manejo do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999, Pelotas. **Anais...**, Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. CD-ROM.

LEVIEN, R.; FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A.; CONTE, O.; CAVICHIOLI, F.A. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1003-1010, 2011.

Licht, M. A.; Al-Kaisi, M. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, v. 80, p. 233–249, 2005.

LUNA, J.; STABEN, M. **Using strip tillage in vegetable production systems in Western Oregon**. Oregon State University Extension Service, EM 8824. 12p., 2003.

MCKYES, E. **Soil cutting and tillage: developments in agricultural engineering**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985, 217p.

MION, R.L.; BENEZ, S.H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1594-1600, 2008.

MION, R.L.; BENEZ, S.H.; VILIOTTI, C.A.; MOREIRA, J.B.; SALVADOR, N. Análise tridimensional de esforços em elementos rompedores de semeadoras de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1414-1419, 2009.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; CAMPOS, F. H.; LANÇAS, K. P. Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação nos pneus. **Energia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 39-51, 2011.

MORRISON, J.E. Strip tillage for no-till row crop production. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 18, n. 3, p. 277-284, 2002.

NICHOLS, M. L.; REED, I. F.; REAVES, C. A. Soil reaction to plowshare design. **Agricultural Engineering**, v.39, p.336-339, 1958.

NRCS. **Tillage practice guide: A guide to USDA-NRCS (practice standards 329). No-till/strip till/direct seed & 345 mulch till.** USA, Natural Resource Conservation Service, United States Department of Agriculture, 1p., 2008.

PACALA, S.; SOCOLOW, R. Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. **Science**, v. 305, p. 968-972, 2004.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho.** 2003, 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior Paulista “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

REICOSKY, D.C. Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. In: Garcia-Torres, L.; Benites, J.; Martinez-Vilela, A. (Eds.) **Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge.** Cordoba, Spain, XUL, p.3-12, 2001.

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

RÍPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; NAKAMURA, R.T. **Subsolagem e subsoladores.** Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, Departamento Editorial, 1985, 34p.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.2, p.540-546, 2008.

SASAKI, C. M. **Força de tração e desempenho operacional de hastes subsoladoras em solos com diferentes texturas e umidade.** 2000. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

SASAKI, C. M.; BENTIVENHA, S. R. P.; GONÇALVES, J. L. M. Configurações básicas de subsoladores florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: IPEF, 2002, p.393-407.

SASAKI, C. M.; GONÇALVES, J. L. M. Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água em três Latossolos. **Scientia Forestalis**, v.69, p.115-124, 2005.

SILVA, A. R. B. Comportamento de variedades/híbridos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes tipos de preparo do solo. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, v.20, n.2, p.76-82, 2005.

SPEROW, M.; EVE, M.; PAUSTIAN, K. Potential soil C sequestration on U.S. agricultural soils. **Climatic Change**, v. 57, p. 319-339, 2003.

SMITH, P. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. **European Journal of Agronomy**, v. 20, n. 3, p. 229-236, 2004.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering principles of agricultural machines**. Lansing: American Society of Agricultural Engineers-ASAE, 1993, 602p.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: The effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural** v. 35, p.730–740, 2005.

TOLON-BECERRA, A.; TOURN, M.; BOTTA, G. F.; LASTRA-BRAVO X. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. **Soil & Tillage Research**, v.117, p.184-190, 2011.

TROGER, H. C. H.; REIS, A. V.; MACHADO, A. L. T.; MACHADO, R. L. T. Analyzing the efforts in furrow openers used in low power planters. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 1133-1143, 2012.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; NEVES, M. C. P. A necessidade de uma revolução mais verde. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUINI, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p. 175-181, 1999.

CAPÍTULO 2 - Desempenho do trator e desenvolvimento do milho em função da haste sulcadora e profundidade de trabalho

Artigo aceito para publicação na Australian Journal of Crop Science

Resumo - No momento da semeadura, a função da haste sulcadora é mobilizar e descompactar solo, mas se a haste não apresentar geometria específica para determinada condição do solo, esta pode interferir no ângulo de abertura do sulco, ocasionando a compactação devido à formação de espelhamento nas paredes do mesmo. O objetivo desse trabalho foi analisar a geometria de hastes sulcadoras em cinco profundidades de trabalho, na cultura do milho, no desempenho operacional do trator e a mobilização do solo. O experimento foi realizado na área do Departamento de Engenharia Rural da UNESP/FCAV, Jaboticabal, SP, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho eutrófico. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 3 x 5, sendo 3 tipos de hastes e 5 profundidades de trabalho, com 4 repetições. A mobilização do solo foi maior para as profundidades de trabalho 12,5, 16,0 e 19,5 cm. As profundidades 5,0 e 9,0 cm fizeram com que as plantas iniciassem o ciclo em menor estande que as demais profundidades de trabalho. O estande final, produtividade de grãos e biomassa não foram influenciados pelos tratamentos. A haste reta com ponteira inclinada apresentou menor demanda de força de tração e consumo de combustível que as demais hastes sulcadoras na profundidade de 19,5 cm, porém, exigiu maior consumo de combustível por volume de solo mobilizado. A geometria da haste sulcadora afetou diretamente a mobilização do solo, o desempenho da máquina, e o desenvolvimento da cultura. No entanto, neste estudo, sugere-se a haste inclinada com ângulo de ataque de 27°, trabalhando na maior profundidade, pois esta combinação proporcionou um melhor consumo de combustível por volume de solo mobilizado, sem redução de produtividade das culturas.

Palavras-chave: sulcador, área mobilizada, máquinas agrícolas, produtividade de grãos.

Abreviações: P_profundidades; H_hastes sulcadoras; RMSP_resistência mecânica do solo à penetração (MPa).

Introdução

O sistema plantio direto (SPD) tem como objetivos manter a cobertura permanente do solo, reduzir a mobilização, a desestruturação e a erosão causada pela água durante o período das chuvas (Garcia e Righes, 2008).

O SPD é caracterizado também pela menor intensidade de mobilização do solo e pela redução da frequência de tráfego de máquinas sobre o terreno e por manter sobre a superfície do mesmo uma quantidade maior de massa vegetal (Furlani et al., 2007). Ele pode propiciar uma recuperação da estrutura do solo, mantendo, dessa forma, o sistema agrícola mais produtivo, sendo considerado como sistema conservacionista (Streck et al., 2004).

A função da haste sulcadora no SPD é mobilização e/ou descompactação do solo em subsuperfície, em profundidade e extensão estipuladas tecnicamente (Cepik et al., 2005), pois promove maior mobilização do solo com menor requerimento de esforço horizontal, atingindo as maiores profundidades de trabalho em relação ao mecanismo de disco (Mion e Benez, 2008). Tais ações diminuem a resistência mecânica do solo à penetração (Koakoski et al., 2007).

A avaliação de mecanismos sulcadores tem importância para o meio científico e para agricultores que buscam ferramentas de ótima eficiência (maior produtividade e melhor desempenho das máquinas) de acordo com a disposição que cada solo apresenta. Em vários trabalhos buscou-se essa eficiência utilizando hastes sulcadoras (Altikat et al., 2013; Furlani et al., 2013; Troger et al., 2012; Akbarnia et al., 2010).

Existem grandes variáveis do projeto e seleção da geometria apropriada para determinados implementos de preparo: profundidade, largura e ângulo de inclinação (Godwin, 2007).

As combinações de mecanismos sulcadores para deposição de fertilizantes e sementes, utilizadas no SPD parecem ser limitados pelo simples desejo dos fabricantes e produtores quererem encontrar a "melhor configuração" para uma especial situação (Gohlke et al. 2010). Esta preocupação pode elevar o custo na operação de semeadura e até mesmo à compactação do solo. A informação sobre a avaliação de mecanismos de abertura de sulco para semeadoras de plantio direto

auxilia as empresas no dimensionamento de ferramentas de abertura do solo, buscando menor exigência de energia (Mion et al., 2009).

A força de tração necessária para a operação de semeadoras-adubadoras de precisão, na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, com bom leito de semeadura, varia de 900 N \pm 25%, por fileira de semeadura (Asae, 1999).

Levien et al. (1999) encontraram valores de força de tração de 3,24 a 3,64 kN por fileira de semeadura em solo argiloso, não diferindo significativamente entre o preparo convencional do solo, escarificação e semeadura direta. Os mesmos autores encontraram ainda que a necessidade de potência na barra para a operação de semeadura, no sistema de preparo convencional do solo, foi de 19,9 kW.

Mello et al. (2003) verificaram que o mecanismo de haste sulcadora apresentou maior capacidade de mobilizar o solo, e provocou reduções na sua densidade e resistência à penetração, bem como aumento da macroporosidade. De acordo com esses autores, o uso da haste sulcadora promove acréscimo de 11,3% na produtividade do milho, em relação à obtida com uso de sulcador de discos.

Altuntas et al. (2006), avaliando o efeito de três tipos de mecanismos sulcadores, afirmam que as características de uma haste influenciam na germinação e emergência das culturas em diferentes condições de solo. Os autores complementam que o formato da haste sulcadora necessita de fatores que afetem no seu desempenho favorecendo a qualidade da operação.

O objetivo desse trabalho foi analisar a geometria de hastes sulcadoras em cinco profundidades de trabalho, na cultura do milho, no desempenho operacional do trator e na mobilização do solo.

Resultados e discussão

Resistência mecânica do solo à penetração

A maior resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) antes da semeadura foi entre a camada de solo 10-20 cm (Figura 1). As hastes trabalharam até a profundidade próxima a essa camada, porém, sem ultrapassá-la, fato esse relacionado à resistência mecânica que o solo apresentou no momento da abertura

do sulco. O teor de água do solo no momento da avaliação da RMSP apresentou valores de 21,3% para a camada 0-10 cm e 22,6% para a camada 10-20 cm.

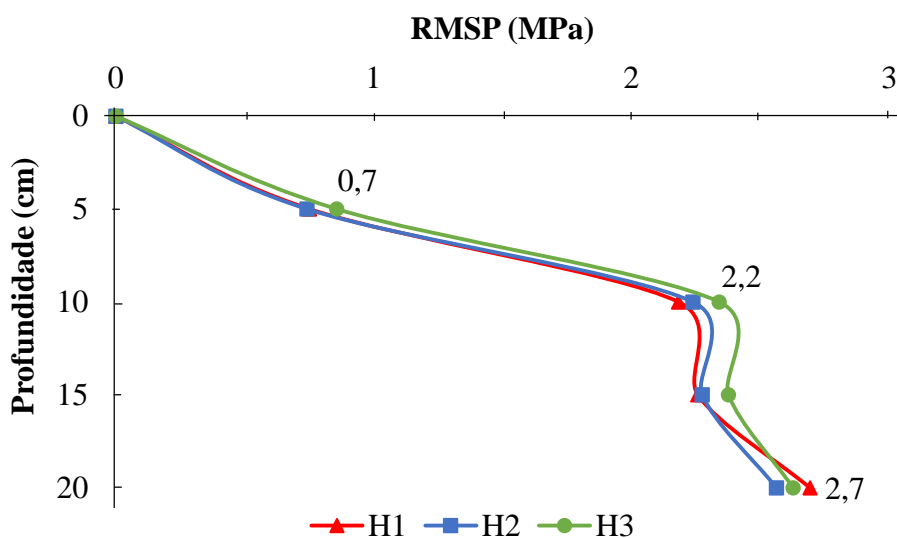


Fig 1. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) avaliada antes da semeadura para cada haste sulcadora.

De acordo com Tardieu (1994), os sistemas radiculares são menos desenvolvidos em áreas compactadas do que em não compactadas, ou seja, devido ao longo tempo de SPD, as plantas e espigas podem não ter se desenvolvido em função da compactação. Canarache (1990) discute que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas. Para Rosolem et al. (1999), a RMSP da ordem de 1,3 MPa reduz à metade o crescimento das raízes seminais adventícias do milho. Sene et al. (1985) consideraram críticos os valores de RMSP em torno de 2,5 MPa, para solos argilosos. Assim, valores maiores de RMSP são consideravelmente excessivos em solos com textura argilosa, como encontrado por Assis et al. (2009).

Mobilização do solo

Não houve diferença entre as hastes para a variável área mobilizada de solo. Contudo, observou-se que para as profundidades de trabalho P3, P4 e P5 ocorreu aumento significativo de área de solo mobilizado em relação à P1 (Tabela 1), ou seja, quando se aprofundou as hastes, as mesmas causaram maior mobilização, porém, deve-se atentar que o aumento da profundidade de trabalho de P3 para P4 e P5 não acarretou em aumento de área mobilizada. Logo, destaca-se que a P3 é a profundidade crítica de trabalho. A partir da mesma, não ocorrerá ganho de

mobilização do solo e, possivelmente, haverá a necessidade de maior força de tração.

Tabela 1. Síntese da análise de variância para área mobilizada de solo, largura e profundidade de sulco.

Hastes (H)	Área mobilizada (cm ²)	Largura do sulco (cm)	Profundidade do sulco (cm)
H1	139,1	24,9 ab	10,3
H2	127,6	24,6 b	10,0
H3	154,9	26,7 a	11,0
Profundidade (P)			
P1	75,9 c	20,9 c	6,6 d
P2	120,1 bc	24,3 b	9,2 c
P3	145,7 ab	25,7 ab	10,8 b
P4	169,1 ab	27,3 ab	12,4 a
P5	191,6 a	28,8 a	13,1 a
Teste F			
H	2,07 ^{ns}	3,56 [*]	2,42 ^{ns}
P	13,29 ^{**}	14,37 ^{**}	50,66 ^{**}
H x P	0,92 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,73 ^{ns}
C.V. (%)	28,9	10,9	11,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01). *significativo (P<0,05); ns: não significativo.

Para a variável largura do sulco, as considerações anteriores são as mesmas. A maior área de solo mobilizada para o sulcador tipo haste pode ser atribuída à maior profundidade de trabalho obtida e pela maior largura da ponteira do sulcador (Conte et al., 2009) e pela sua geometria, visando a abertura do sulco para a deposição de fertilizantes e rompimento do solo em camadas mais compactadas.

Observou-se também que as hastes sulcadoras não ultrapassaram os 13,1 cm de profundidade, sendo que as mesmas eram para aproximar-se dos 19,5 cm no tratamento P5. Isso ocorreu devido à resistência mecânica do solo à penetração medida no momento da semeadura (Figura 1). Apesar da maior profundidade de trabalho mobilizar mais solo, isso pode prejudicar na maior largura do sulco, fazendo com que o solo fique mais descoberto. A falta de palha sobre o sulco pode prejudicar o desenvolvimento da cultura devido à alta temperatura e baixo teor de água do solo pela ausência destes resíduos. Dessa forma, um sistema de retorno da palha sobre o sulco fechado é fundamental na máquina.

Desenvolvimento da cultura do milho

A emergência de plântulas apresentou média de 5,6 dias até a estabilização, não sendo influenciada pelos tratamentos. O mesmo ocorreu para a distribuição longitudinal de plantas, com valores de espaçamento normal, falho e duplo de 61, 21 e 18%, respectivamente.

A geometria das hastes e as profundidades escolhidas para este trabalho são capazes de garantir 61% de espaçamento normal. Segundo Coelho (1996), para semeadoras com disco dosador de sementes semelhante ao utilizado, o valor mínimo aceitável para o espaçamento normal é de 60%. Os 39% restantes (somatório de espaçamentos falhos e duplos) são possíveis consequências do disco duplo de sementes que, por estarem trabalhando em Latossolo Vermelho Eutroférico, teor de água alto e presença excessiva de argila, os discos podem acumular solo e mudar o posicionamento das sementes. Outra possível razão da quantidade de espaçamentos não desejáveis é que o dosador mecânico apresenta problema com o formato das sementes, o que teoricamente não ocorreria com um disco pneumático.

Reis et al. (2007) trabalhando com uma semeadora-adubadora com dosador do tipo mecânico em soja, encontraram valores de espaçamentos aceitáveis de 68,8%, superior ao do presente trabalho, porém, trabalhando com velocidade menor (3,8 km h⁻¹). Altikat et al. (2013) encontraram maiores porcentagens de sementes emergidas quando utilizaram hastes sulcadoras, comparando com mecanismos do tipo disco duplo e hastes com ponteiras aladas, mostrando novamente que este tipo de mecanismo é eficaz para o preparo localizado do solo em SPD.

O aprofundamento das hastes sulcadoras proporcionou maior quantidade de plântulas emergidas (Tabela 2). O aumento da profundidade de atuação das hastes sulcadoras da semeadora-adubadora, para romper de forma localizada as camadas compactadas em superfície, é uma medida que também pode estimular o desenvolvimento radicular e reduzir os efeitos da compactação sobre a produtividade do milho (Conte et al., 2009). Por outro lado, observou-se que quanto maior a profundidade de trabalho, maior é o número de plantas que não sobreviveram no final do ciclo.

Tabela 2. Síntese da análise de variância para estande inicial e final da cultura do milho, produtividade de grãos e biomassa.

Hastes	Estande inicial	Estande final	Produtividade	Biomassa
	----- plantas ha ⁻¹ -----	----- plantas ha ⁻¹ -----	----- kg ha ⁻¹ -----	----- kg ha ⁻¹ -----
H1	75.185	72.222	7.279	8.935
H2	75.093	71.482	7.003	9.501
H3	74.490	71.157	7.128	9.490
Profundidade (P)				
P1	72.839 b	70.756	7.175	9.511
P2	73.380 b	70.602	6.847	9.230
P3	75.772 a	72.222	7.096	9.371
P4	76.466 a	72.917	7.205	8.964
P5	76.157 a	71.605	7.360	9.466
Teste F				
H	0,50 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,45 ^{ns}
P	2,03 [*]	0,51 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,12 ^{ns}
H x P	1,59 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,32 ^{ns}
C.V. (%)	5,5	6,6	12,3	23,2

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01). *significativo (P<0,05); ns: não significativo.

A produtividade da cultura do milho não variou entre os tratamentos, sendo este um fato considerável, utilizando-se hastes sulcadoras, pois isso mostra que mesmo havendo diferença na quantidade de solo mobilizado em função do aprofundamento das hastes no solo, os valores de produção de grãos da cultura não diferiram. Trabalhos com avaliação de profundidade de hastes sulcadoras também constataram a não diferença para esta variável (Furlani et al. 2013; Debiasi et al. 2010).

A produtividade média da cultura do milho foi de 7.137 kg ha⁻¹ com estande inicial de aproximadamente 75.000 plantas ha⁻¹. Para Mello et al. (2003) e Kaneko et al. (2010), o mecanismo de haste sulcadora promoveu maior população final de plantas em relação ao mecanismo de discos, favorecendo no aumento da produtividade de grãos. Arf et al. (2008), trabalhando com mecanismos de abertura de sulcos (disco e haste sulcadora) na cultura do feijão, observaram incremento médio, em dois anos, de 9,9% na produtividade de grãos, quando da utilização do mecanismo tipo haste. Os valores de produtividade encontrados neste trabalho são superiores à produtividade média do Brasil na Safra 2012/13 que foi da ordem de

5.149 kg ha⁻¹ (Conab, 2014). Não houve diferença estatística para a variável biomassa, apresentando média de 9.308 kg ha⁻¹.

Desempenho do conjunto mecanizado

Houve diferença para todas as variáveis de desempenho do conjunto mecanizado e interações significativas entre os tratamentos para as variáveis: força de tração média e consumo horário de combustível (Tabela 3). Em contraponto, Reis et al. (2002), avaliando duas semeadoras, utilizando mecanismos de abertura do solo do tipo haste em quatro teores de água do solo em Podzólico Vermelho-Amarelo e com SPD, não encontraram diferença no consumo horário de combustível do trator.

Tabela 3. Síntese da análise de variância para o desempenho do trator, sendo as variáveis consumo horário de combustível, força de tração média (FTmédia) e pico (FTpico).

Haste (H)	FTmédia ----- kN -----	FTpico -----	Consumo L h ⁻¹
H1	11,9	13,6 b	7,8
H2	14,0	16,4 a	8,2
H3	13,2	14,8 b	7,6
Profundidade (P)			
P1	11,6	11,7 c	7,5
P2	13,6	14,8 b	8,1
P3	12,4	14,6 b	7,6
P4	14,2	17,0 a	8,1
P5	13,4	16,5 ab	7,9
Teste F			
H	7,51**	11,46**	7,82**
P	4,10**	15,26**	2,95*
H x P	4,84**	0,65 ns	7,52**
C.V. (%)	13,5	11,5	6,4

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01). *significativo (P<0,05); ns: não significativo.

A haste H2 demandou maior força de tração de pico, e nas maiores profundidades de trabalho (P4 e P5) essa demanda foi 43% superior, quando comparado a P1. Palma et al. (2010), em trabalho com quatro profundidades da haste sulcadora (10,0, 15,0, 20,0 e 25,0 cm), observaram que quando a ponteira da haste trabalha em camadas de solo de maior resistência, maior é a demanda de força de tração em relação ao se trabalhar com a ponteira abaixo dessas camadas. A força de tração de pico (FTP) por haste foi de 3,7 kN, próximo do limite proposto

pela Asae (2003), que é de 3,4 kN por fileira. O valor obtido para FTP pode ser considerado dentro do recomendado, pois as avaliações foram realizadas em SPD com oito anos, e em condições de RMSF maiores, quando comparado ao sistema de preparo convencional.

A potência pico na barra de tração requerida pela semeadora-adubadora foi de 25,6 kW. Furlani et al. (2005), em trabalho com quatro fileiras de semeadura, mecanismo de abertura do solo do tipo haste à 8 cm de profundidade e velocidade de deslocamento com o dobro do presente trabalho, encontraram valores de potência média na barra em SPD de 25,1 kW.

A haste H2 apresentou maiores valores de força de tração em profundidades menores quando comparado as demais hastes (Tabela 4). Isto se explica pelo ângulo de inclinação e largura da ponteira desta haste, sendo estas as responsáveis pelo rompimento do solo. Furlani et al. (2013) encontraram valores menores de demanda de força quando utilizaram hastes com este tipo de geometria.

Tabela 4. Desdobramento da interação dos fatores para a variável força de tração (kN).

Hastes	Profundidades				
	P1	P2	P3	P4	P5
H1	8,7 Bc	12,0 Bab	11,1 Aab	13,3 Aa	14,4 Aa
H2	15,3 Aa	16,2 Aa	13,2 Aab	13,9 Aab	11,7 Bb
H3	10,8 Bb	12,6 Bab	12,9 Aab	15,4 Aa	14,0 Aab

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A haste H2 proporcionou maior consumo de combustível que as demais hastes em profundidades de trabalho menores (Tabela 5). Já na profundidade P5, esta haste demandou menos combustível ao trator, comparado a H1.

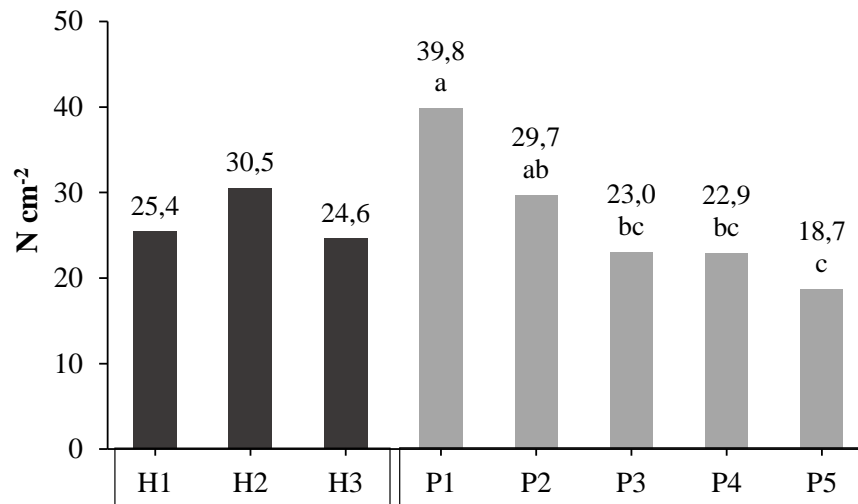
Tabela 5. Desdobramento da interação dos fatores para a variável consumo horário de combustível do trator (L h⁻¹).

Hastes	Profundidades				
	P1	P2	P3	P4	P5
H1	7,1 Bb	8,1 ABab	7,2 Bb	8,0 Aab	8,5 Aa
H2	8,9 Aa	8,6 Aa	8,2 Aab	7,9 Aab	7,3 Bb
H3	6,6 Bb	7,4 Bab	7,6 ABab	8,4 Aa	7,8 ABa

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando a força de tração por área de solo mobilizado (Figura 2), constatou-se que houve diferença significativa para as profundidades. Quanto mais

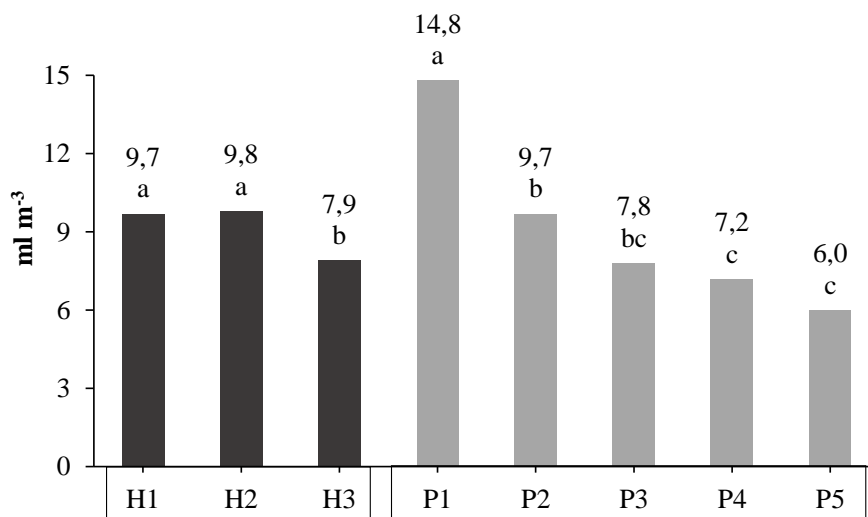
se aprofundou as hastes no solo, menor foi a demanda de força por área da seção transversal do solo mobilizado. Com o incremento na profundidade de trabalho da P1 para P3 e P5, há uma diminuição da força de tração de 16,8 e 21,1 N cm⁻², respectivamente.



H: hastes; P: profundidades. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação: 10,4%. Teste significativo a 1% apenas para profundidades.

Fig 2. Análise de variância para força de tração por área de solo mobilizado.

No consumo de combustível do trator por volume de solo mobilizado em função das hastes e profundidades de trabalho (Figura 3), a haste H3 apresentou menor demanda, devido à sua geometria e ângulo de inclinação da ponteira menor que H2. Assim a H3 conseguiu mobilizar mais solo e fez com que o trator consumisse menor quantidade de combustível.



H: hastes; P: profundidades. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação: 12,6%. Teste significativo a 5% para hastes e a 1% para profundidades.

Fig 3. Análise de variância para consumo de combustível por volume de solo mobilizado.

Materiais e métodos

Local e materiais de avaliação

O experimento foi realizado em área do Departamento de Engenharia Rural da UNESP/FCAV, Jaboticabal, SP, com altitude média de 560 metros, declividade média de 4% e clima Aw (subtropical), de acordo com a classificação de Köppen. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (Andrioli e Centurion, 1999), com 469 g kg⁻¹ de argila, 307 g kg⁻¹ de silte e 224 g kg⁻¹ de areia, sob sistema plantio direto de 8 anos e cobertura vegetal média de 50%. Os resíduos de material vegetal deixados sobre o solo foram da cultura da soja, colhida 60 dias antes do início da semeadura do presente trabalho.

Foram utilizadas sementes do milho BG7049H (BioGene), sendo o espaçamento da cultura de 0,90 m entre fileiras e 13,7 cm entre sementes. A adubação na semeadura e de cobertura foi realizada em função do resultado da análise química do solo.

Utilizou-se a semeadora-adubadora modelo JM3060PD pantográfica da empresa JUMIL, que consiste de dosador mecânico para distribuição de sementes, haste sulcadora para abertura do sulco e deposição do adubo, discos duplos para sementes, rodas aterradoras-compactadoras duplas em "V", operando com 4 fileiras de semeadura espaçadas de 0,90 m.

Para tracionar a semeadora-adubadora utilizou-se o trator Valtra BM125i com tração 4x2 TDA e potência máxima no motor de 125 cv (91,9 kW) a 2300 rpm. A velocidade média do conjunto mecanizado foi de 5,5 km h⁻¹.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 3 x 5, sendo três hastes sulcadoras (H1, H2 e H3), representadas pela Figura 4 e cinco profundidades (P1, P2, P3, P4 e P5), com quatro repetições. As parcelas mediam 25 x 4 m e a área útil para avaliação do solo e das plantas foi composta por duas fileiras centrais de 6 m cada.

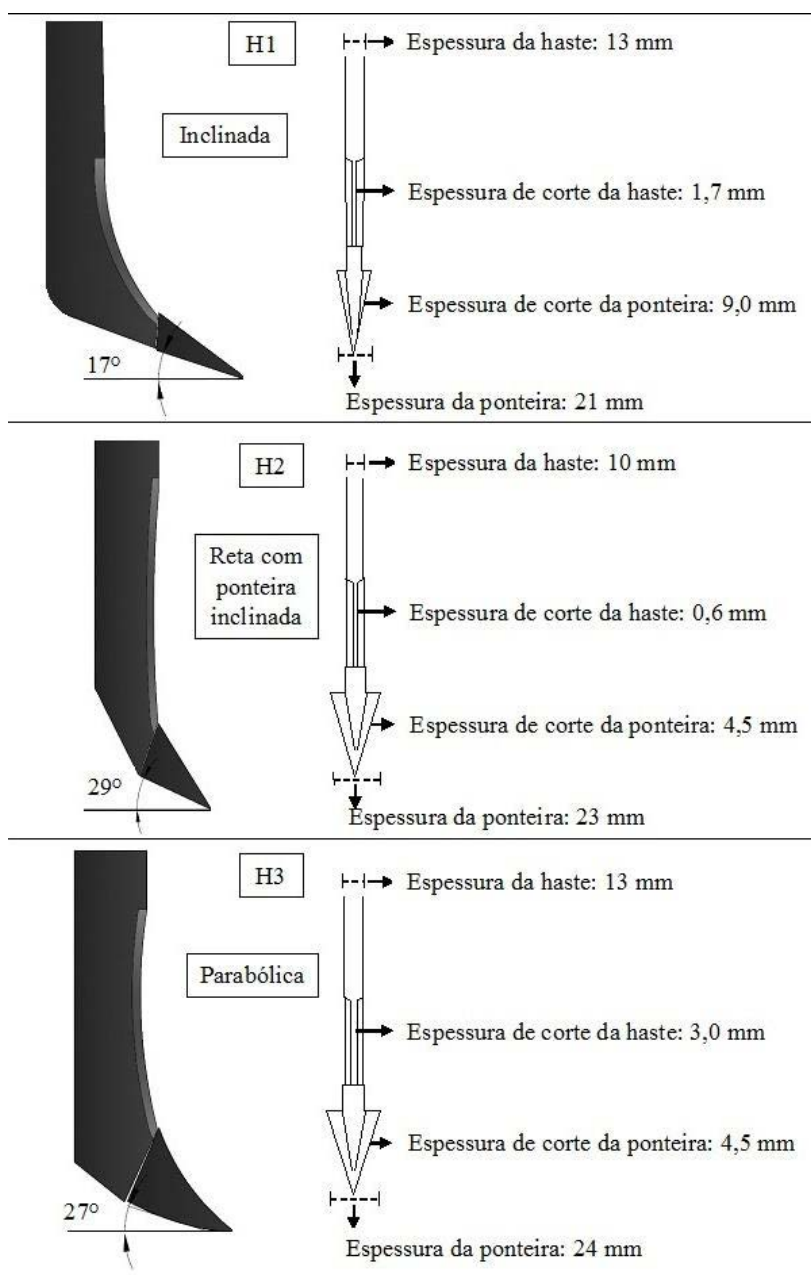


Fig 4. Características e geometria das hastes sulcadoras.

As profundidades de trabalho (P) das hastes sulcadoras definidas para a abertura do sulco e deposição de fertilizante na semeadura direta do milho foram: P1: 5,0 cm; P2: 9,0 cm; P3: 12,5 cm; P4: 16,0 cm e P5: 19,5 cm.

Avaliações da cultura do milho

Para a cultura do milho utilizou-se as variáveis:

- distribuição longitudinal de sementes: foi determinada pela medição da distância entre plântulas consecutivas, existentes em doze metros das duas fileiras centrais, sendo seis metros em cada fileira, em todas as parcelas, conforme descrito por ABNT (1996).
- número médio de dias para emergência: foi realizada por meio de contagens diárias desde a primeira plântula emergida até a estabilização da contagem, em doze metros das duas fileiras centrais, sendo seis metros em cada fileira, adaptado de Vieira e Carvalho (1994).
- estande inicial e final: foi contado o número de plantas na área útil da parcela, no início do ciclo, após a estabilização e no final do ciclo da cultura, transformando posteriormente os dados em plantas ha⁻¹.
- produtividade de grãos: foram coletadas as espigas da área útil de cada parcela e as mesmas trilhadas com auxílio de trilhadora mecânica. Os grãos foram separados, pesados, os valores foram corrigidos para a base úmida de 13%, e em seguida, extrapolados para kg ha⁻¹.
- biomassa (kg ha⁻¹): foi pesada toda a parte aérea das plantas da área útil da parcela e após a trilha dos grãos, descontou-se o peso destes, obtendo assim, a massa da palha. Retirou-se uma amostra para secagem em estufa com circulação forçada de ar, por 72 h a 65°C, determinando-se a porcentagem de água e, em seguida, efetuou-se o cálculo da produtividade de massa seca de palha (kg ha⁻¹).

Avaliações de desempenho operacional

Para o desempenho operacional do trator durante a semeadura foram avaliados:

- força de tração na barra: utilizou-se uma célula de carga, conectada a um sistema de aquisição de dados para se obter a força média de tração.

- força de tração de pico: após os dados serem lançados em planilha, foram selecionados os quatro valores maiores de força de tração que o datalogger coletou, sendo posteriormente analisada uma média desses valores em programa estatístico.
- consumo horário de combustível: determinou-se em todas as parcelas experimentais em unidade de volume (ml), por meio da diferença entre os volumes de combustível medidos antes da bomba injetora e retorno do motor, obtendo-se o volume utilizado pela máquina durante o percurso. Para medir o consumo de combustível foram utilizados 2 medidores de fluxo instalados em série com 2 medidores de temperatura para monitorar o débito e o retorno da bomba injetora. O consumo horário foi calculado pelo volume de combustível (ml) e o tempo de deslocamento (s) na parcela experimental, transformando-os em $L h^{-1}$.

Avaliações do solo

No solo foram avaliadas as variáveis:

- resistência mecânica do solo à penetração (RMSP): utilizou-se um penetrômetro eletrônico denominado de PNT-Titan, constituído de célula de carga com capacidade nominal de 150 kgf (1500 N), haste com ponteira cônica, acoplado a um quadriciclo. Os dados foram coletados pelo próprio aparelho em intervalos de 1 cm. Foram coletados 5 pontos por parcela antes da semeadura.
- teor de água do solo: as amostras para determinação do teor de água do solo foram coletadas utilizando-se um trado holandês nas camadas de 0-10 e 10-20 cm sendo acondicionadas em recipientes de alumínio e levadas ao laboratório, onde permaneceram por 24 horas em estufa a 105 °C, e calculado posteriormente em base seca.

Mobilização do solo

Realizou-se a abertura do sulco de manualmente até ser localizada a camada compactada, sendo possível modelar o sulco. As variáveis avaliadas foram:

- largura e profundidade do sulco: estas avaliações foram realizadas com a ajuda de um perfilômetro constituído de 45 varetas, espaçadas de 1 cm e altura máxima de 30 cm. Ao fundo do perfilômetro colocou-se um quadro de linhas na horizontal com espaçamento de 0,5 cm para facilitar a leitura, sendo a mesma analisada por

imagens fotográficas. O posicionamento da extremidade superior das varetas copia a forma geométrica do sulco, podendo-se então realizar as leituras. A largura foi definida da primeira até a última vareta a qual, ao caírem no solo, apresentaram medidas distintas. A profundidade máxima foi definida pela média das três varetas que apresentaram maior medida.

- área mobilizada do sulco: após as leituras das imagens fotográficas os dados foram lançados em uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel®, em que se obteve a área da seção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora, em cm^2 , resultante da integral da regra dos trapézios (Equação 1) proposto por Ruggiero e Lopes (1996).

$$\int f(x) = \frac{h}{2} \{f(x_0) + 2[f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{m-1})] + f(x_m)\} \quad (1)$$

em que,

\int = integral numérica para área mobilizada do solo,

h = distância entre as varetas do perfilômetro (1 cm),

x = valor das leituras das varetas (cm).

- força de tração por área de solo mobilizado: primeiramente dividiu-se os dados de força na barra por fileira de semeadura, transformando-os também em Newtons. Posteriormente, dividiu-se pela área mobilizada de solo (N cm^{-2}).

- consumo de combustível por volume de solo mobilizado: para calcular esta variável, inicialmente transformaram-se os dados de área de solo mobilizado (cm^2) em volume de solo mobilizado por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Posteriormente, transformaram-se os dados de consumo de combustível de litros para mililitro e por último dividiu-se este por volume de solo mobilizado (ml m^{-3}).

Análise estatística

Os dados foram analisados pelos programas estatísticos Sisvar (Ferreira, 2011) e Assistat (Silva e Azevedo, 2006), resultando em análises de variância e, quando significativos, aplicou-se o teste de Tukey à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Conclusões

A geometria da haste sulcadora afetou diretamente a mobilização do solo, o desempenho da máquina e o desenvolvimento inicial da cultura. No entanto, neste

estudo, sugere-se a haste inclinada com ângulo de ataque de 17°, trabalhando na profundidade de P3, pois esta combinação proporcionou um menor consumo de combustível por volume de solo mobilizado, sem redução de produtividade das culturas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de norma 04:015.06-004/1995. **Semeadora de precisão: ensaio de laboratório/método de ensaio**. São Paulo: ABNT, 1996. pp 21.
- Akbarnia A, Alimardani R, Baharloeyan Sh (2010) Performance comparison of three tillage systems in wheat farms. **Aust J Crop Sci**. 4(8):586-589.
- Altikat S, Celik A, Gozubuyuk Z (2013) Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch. **Soil Tillage Res**. 126:72-77.
- Altuntas E, Ozgoz E, Taser OF, Tekelioglu O (2006) Assessment of different types furrow openers using a full automatic planter. **Asian J Plant Sci**. 5:537-542.
- Andrioli I, Centurion JF (1999). Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27. **Anais...**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROM.
- Arf O, Afonso RJ, Júnior AR, Silva MG, Buzettim S (2008) Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**. 67(2):499-506.
- Asae - American Society of Agricultural Engineers (1999). Agricultural machinery management. In: **Asae Standards 1999: Standards engineering practices data**. St. Joseph, ASAE. 359-366.
- Asae - American Society of Agricultural Engineers (2003) Agricultural machinery management data. In: **Asae Standards 2003: Standards engineering practices data**. St. Joseph, ASAE. 373-380.

- Assis RL, Lazarini GD, Lanças, KP, Cargnelutti Filho A (2009) Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**. 29:558-568.
- Canarache A (1990) Penetr - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**. 16:51-70.
- Cepik CTC, Trein CR, Levien R (2005) Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**. 25:447-457.
- Coelho JLD (1996) Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. In: Mialhe LG. **Máquinas Agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fealq, 551-570.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2014) **Séries históricas safra 2012/2013**. Brasília: Conab.
- Conte O, Levien R, Trein CR, Xavier AAP, Debiasi H (2009) Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 44(10):1254-1261.
- Debiasi H, Levien R, Trein CR, Conte O, Kamimura KM (2010) Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 45(6):603-612.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35 p.1039-1042, 2011.
- Furlani CEA, Lopes A, Silva RP (2005) Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**. 25:458-464.
- Furlani CEA, Júnior AP, Lopes A, Silva RP, Grotta DCC, Cortez JW (2007) Desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**. 27:456-462.
- Furlani CEA, Canova R, Cavichioli FA, Bertanha RS, Silva RP (2013) Demanda energética por semeadora-adubadora em função da haste sulcadora na semeadura do milho. **Revista Ceres**. 60:885-889.
- Garcia SM, Righes AA (2008) Vertical mulching e manejo da água em Semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:833-842.

- Godwin RJ (2007) A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil & Tillage Research**. 97:331-340.
- Gohlke T, Ingersoll T, Roe RD (2010). **Soil disturbance in no-till and direct seed planting systems**. Agronomy technical note n.39, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Portland, Oregon, 6p. Disponível em: ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/OR/Technical_Notes/Agronomy/Agronomy39.pdf
- Kaneko FH, Arf O, Gitti DC, Arf MV, Ferreira JP, Buzetti S (2010) Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**. 69(1):125-133.
- Koakoski A, Souza CMA, Rafull LZL, Souza LCF, Reis EF (2007) Desempenho de semeadora adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42(5):725-731.
- Levien R, Marques JP, Benez SH (1999) Desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em semeadura de milho (*Zea mays* L.), sob diferentes formas de manejo do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999, Pelotas. **Anais...**, Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. CD-ROM.
- Mello LMM, Pinto ER, Yano EH (2003) Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Engenharia Agrícola**. 23:563-567.
- Mion RL, Benez SH (2008). Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, 32:1594-1600.
- Mion RL, Benez SH, Viliotti CA, Moreira JB, Salvador N (2009) Análise tridimensional de esforços em elementos rompedores de semeadoras de plantio direto. **Ciência Rural**. 39(5):1414-1419.
- Palma MAZ, Volpato, CES, Barbosa JA, Spagnolo RT, Barros MM, Boas LAV (2010) Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinação, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**. 34:1320-1326.

- Reis EF, Vieira LB, Souza CM, Schaefer CEGR, Fernandes HC (2002) Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de plantio direto em diferentes teores de água em um solo argiloso. **Engenharia na Agricultura**. 10:61-68.
- Reis EF, Moura JR, Delmond JG, Cunha JPAR (2007) Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Ciências Técnicas Agropecuarias**. 16:70-75.
- Rosolem CA, Fernandez EM, Andreotti M, Crusciol CAC (1999) Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 34(5):821-828.
- Ruggiero MAG, Lopes VLR (1996) **Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2ed. São Paulo: Makron Books, pp 406.
- Sene M, Vepraakas MJ, Naderman GC, Denton HP (1985) Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**. 49(2):422-427.
- Silva FAS, Azevedo CAV (2006) A New Version of the Assistat-Statistical Assistance Software. In: World Congress on Computers in Agriculture, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...**, Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 393-396.
- Streck CA, Reinert DJ, Reichert JM, Kaiser DR (2004) Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**. 34(3):755-760.
- Tardieu F (1994) Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signaling? **Soil & Tillage Research**. 30:217-243.
- Troger HCH, Reis AV, Machado ALT, Machado RLT (2012) Analyzing the efforts in furrow openers used in low power planters. **Engenharia Agrícola**. 32:1133-1143.
- Vieira RD, Carvalho NM (1994). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP. 164p.

CAPÍTULO 3 – Profundidade e teor de água críticos na semeadura de milho em Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto

Artigo submetido na Revista Científica Soil & Tillage Research

Resumo - A implantação de uma cultura é um dos procedimentos mais importantes no sistema plantio direto (SPD) devido aos cuidados que se deve ter como o teor de água do solo, profundidade de trabalho e palhada, pois estes podem influenciar na quantidade de solo mobilizado, o que afetará no desempenho do conjunto trator-semeadora e no desenvolvimento de culturas. Assim, objetivou-se neste estudo avaliar a profundidade crítica de trabalho da haste de adubo e o teor de água crítico do solo para o bom desempenho do conjunto mecanizado, na produtividade da cultura do milho, em Latossolo Vermelho eutroférico sob sistema plantio direto de 12 anos. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro teores de água do solo (TAS) e três profundidades da haste sulcadora (9,5; 12,5 e 16,5 cm), com 4 repetições. A haste sulcadora mobilizou mais o solo nas maiores profundidades, porém, este aumento não foi proporcional a partir do TAS3, considerando-o como o limite de teor de água do solo para implantação de culturas em Latossolo Vermelho eutroférico sob 12 anos de SPD. Devido ao aumento de solo mobilizado a profundidade crítica para este solo foi de 16,6 cm, com relação de 7,9 vezes a espessura da ponteira. Houve diminuição da cobertura vegetal e de retorno do solo ao sulco após a semeadura quando a haste trabalhou em TAS maior. A produtividade, biomassa e estande final da cultura do milho não foram afetados pelos fatores profundidade de trabalho e teor de água do solo. O consumo de combustível do trator foi menor com a haste sulcadora trabalhando a 16,5 cm de profundidade no TAS4.

Palavras-chave: umidade do solo, demanda de força, consumo de combustível, produtividade de grãos, solo mobilizado.

1. Introdução

A agricultura conservacionista está crescendo exponencialmente, é produtiva e sustentável, responde a maioria dos desafios atuais, é compatível com os objetivos

estratégicos da FAO (Food and Agriculture Organization), porém, exige políticas de apoio para uma adoção acelerada (Friedrich e Kassam, 2011).

De acordo com Baker et al. (2007), as práticas conservacionistas do solo são vantajosas desde que se mantenha um mínimo de 30% de resíduos na superfície do solo. Os autores definem que ao implementar esse tipo de manejo, há a vantagem de se conservar as estruturas do solo, matéria orgânica e nutrientes, podendo-se também ganhar tempo, combustível e dinheiro.

A utilização do preparo conservacionista pode desempenhar um papel importante na redução da erosão e melhorar a qualidade do solo (Uri et al., 1999) e pode ser uma alternativa atraente ao preparo convencional para os agricultores devido ao seu potencial para minimizar o tempo de operação, consumo de combustível e menor custo total de produção (Uri, 2000; Lithourgidis et al, 2005).

Ling-Ling et al., (2011), afirmaram que a agricultura conservacionista é um fato importante ligado diretamente à conservação do solo e da água, à produtividade de culturas de alta rentabilidade podendo-se resumir em palavras como sendo um desenvolvimento sustentável para a agricultura.

No SPD, a semeadura é realizada com revolvimento do solo somente na fileira onde a semente é depositada, assim, os principais fatores físicos desse ambiente, como temperatura, teor de água e aeração, são diretamente influenciados pelo tipo de mecanismo de abertura do sulco (Reis et al., 2006).

Conte et. al (2011) definem que, em plantio direto, os sulcadores preparam a fileira de semeadura para colocação de sementes e fertilizantes, e este tipo dispositivo é a principal ferramenta para mobilizar o solo neste sistema de cultivo. Os autores complementam ainda que as hastes são usadas para promover uma condição física adequada do solo, e, no caso de problemas de compactação do solo, estas são utilizadas mais frequentemente e em camadas mais profundas do perfil do solo.

Spoor e Godwin (1978) afirmaram que a mobilização do solo por hastes subsoladoras depende da profundidade de trabalho, do comprimento e da largura da haste, além do teor de água e da densidade do solo. Para os autores, a profundidade crítica diminui quando o solo se encontra mais plástico (mais úmido).

Germino e Benez (2006) avaliaram dois tipos de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em quatro profundidades de trabalho (0,12; 0,23; 0,28 e 0,33 m) em Nitossolo Vermelho distroférico. Eles concluíram que quando se trabalha na profundidade recomendada (0,13 m) não há diferença no desempenho das hastes, mas quando se ultrapassa a profundidade crítica de trabalho as diferenças se acentuam entre elas.

Altuntas et al. (2006), avaliando o efeito de três tipos de mecanismos sulcadores, afirmaram que as características de uma haste influenciam na germinação e emergência das culturas em diferentes condições de solo. Para esses autores o formato da haste sulcadora necessita de fatores que afetem seu desempenho favorecendo a qualidade da operação.

Durante as operações de preparo do solo e semeadura, são aplicadas forças que afetam a resistência do solo à penetração (Voorhees et al., 1989), o que ocorre devido às modificações das condições físico-químicas e biológicas. A referida resistência é resultante de forças de coesão entre as partículas do solo, que é definida principalmente pela densidade, do teor de água e da granulometria do solo (Andreolla e Gabriel Filho, 2006).

A força de tração necessária para a operação de semeadoras-adubadoras de precisão, na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, com bom leito de semeadura, varia de 900 N \pm 25%, por fileira de semeadura (Asae, 1999).

Levien et al. (2011) avaliaram dois tipos de mecanismos de abertura de sulco (haste e discos duplos) e verificaram que a utilização do sulcador tipo haste provocou uma mobilização 52% maior do solo na fileira de semeadura, comparada à de discos duplos. Os autores afirmam, ainda, que essa variável é a provável explicação para que houvesse uma exigência maior de 32% na força média de tração, 60% nos picos de exigência de esforço na barra de tração e de 20% no consumo de combustível por área trabalhada, em relação ao uso do mecanismo do tipo disco.

Objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho do conjunto mecanizado e a produtividade da cultura do milho em função da profundidade de trabalho de hastes

sulcadora e do teor de água do solo, em Latossolo Vermelho eutrófico sob 12 anos de sistema plantio direto.

2. Materiais e métodos

2.1 Características da área

O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho Eutrófico, com 469 g kg^{-1} de argila, 307 g kg^{-1} de silte e 224 g kg^{-1} de areia, sob sistema plantio direto com 12 anos de cultivo e cobertura vegetal média na superfície do solo de 68%. Os resíduos de material vegetal deixados sobre o solo foram da cultura da soja, colhida 45 dias antes do início da semeadura do presente trabalho.

2.2 Materiais

Foram utilizadas sementes do milho BG7049H (BioGene), sendo o espaçamento da cultura de 0,90 m entre fileiras e 5,9 sementes m^{-1} . Utilizou-se a semeadora-adubadora modelo JM3060PD pantográfica da empresa Jumil, configurada com disco de corte liso de 17", mecanismo de abertura do sulco e deposição de adubo do tipo haste sulcadora (Figura 1), dosador com sistema mecânico (disco na horizontal) e discos duplos desencontrados de 14" para dosagem e deposição das sementes, respectivamente, rodas aterradoras-compactadoras duplas em "V", operando com 4 fileiras de semeadura espaçadas de 0,90 m.

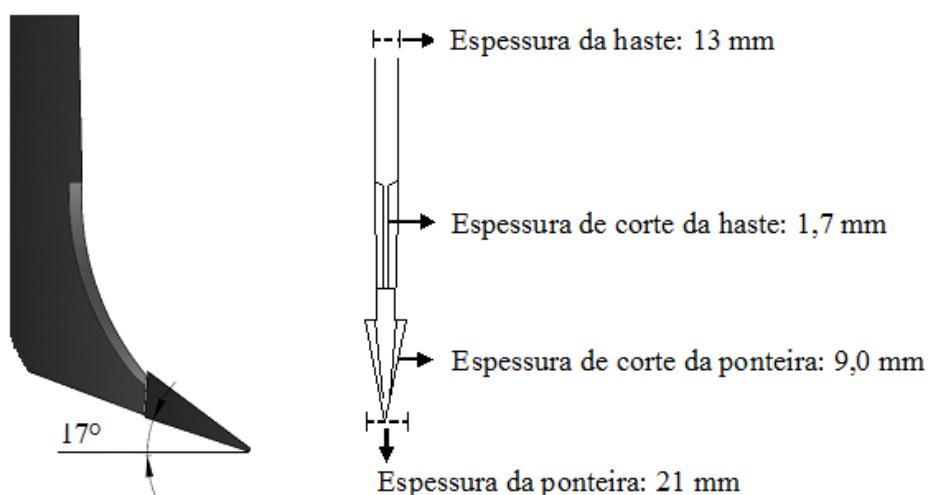


Fig 1. Características e geometria da haste sulcadora.

Para tracionar a semeadora-adubadora utilizou-se o trator Valtra BM125i com tração 4x2 TDA e potência máxima no motor de 91,9 kW (125 cv) a 2300 rpm. A

velocidade média do conjunto mecanizado foi de 5,0 km h⁻¹, aferida por meio de radar.

2.3 Condução e delineamento experimental

As parcelas constaram de 25 x 4 m para a avaliação do conjunto mecanizando e utilizou-se 10 m das duas fileiras centrais de semeadura da parcela para avaliação da cultura do milho.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 4 x 3, sendo 4 teores de água do solo (TAS) e 3 profundidades de trabalho das hastes sulcadoras (P), com quatro repetições. Para conduzir a semeadura do milho em quatro níveis de água no solo, a área experimental foi irrigada por aproximadamente 12 horas (6 horas em um dia e mais 6 horas no dia seguinte), com lâmina média de água de 10 mm h⁻¹. Salieta-se que durante os dias de semeadura não ocorreu precipitação pluviométrica. Após 36 horas da última irrigação, iniciou-se a primeira semeadura, sendo as demais realizadas a cada 72 horas. Na Tabela 1 são apresentados os valores do teor de água do solo no momento de cada semeadura.

Tabela 1. Valores de teor de água do solo (TAS) no momento da semeadura para as camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m do solo.

Profundidade	TAS1	TAS2	TAS3	TAS4
	----- (%) -----			
0,0-0,10 m	18,7	21,2	23,9	26,0
0,10-0,20 m	19,2	22,0	24,5	26,6

A profundidade de trabalho da haste sulcadora foi definida como: P1: 9,5 cm; P2: 12,5 cm; P3: 16,5 cm.

2.4 Avaliações do milho

Para a cultura do milho utilizou-se as variáveis:

- estande final: foi contado o número de plantas no final do ciclo da cultura, transformando posteriormente em plantas ha⁻¹.
- produtividade de grãos: foram coletadas as espigas e as mesmas trilhadas com auxílio de trilhadora mecânica. Os grãos foram separados, pesados, os valores

foram corrigidos para a base úmida de 13%, e em seguida, extrapolados para kg ha^{-1} .

- biomassa: foi pesada toda a parte aérea das plantas após a trilha dos grãos, descontando-se o peso destes, obtendo assim, a massa da palha. Retirou-se uma amostra para secagem em estufa com circulação forçada de ar, por 72 h a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, determinando-se a porcentagem de água e, em seguida, efetuou-se o cálculo da produtividade de massa seca de palha (kg ha^{-1}).

2.5 Avaliações do trator

Para o desempenho operacional do trator durante a semeadura foram avaliados:

- força de tração média: utilizou-se uma célula de carga, conectada a um sistema de aquisição de dados para se obter a força média de tração na barra (kN).

- força de tração pico: com os dados de força de tração foram selecionados os quatro maiores valores, sendo posteriormente analisada a média desses valores em programa estatístico.

- consumo horário e operacional de combustível: determinou-se em todas as parcelas experimentais em unidade de volume (ml), por meio da diferença entre os volumes de combustível medidos antes da bomba injetora e retorno do motor, obtendo-se o volume utilizado pela máquina durante o percurso. Para medir o consumo de combustível foram utilizados 2 medidores de fluxo instalados em série com 2 medidores de temperatura para monitorar o débito e o retorno da bomba injetora. O consumo horário foi calculado pelo volume de combustível (ml) e o tempo de deslocamento (s) na parcela experimental, transformando-os em L h^{-1} . O consumo operacional foi calculado em função da capacidade de campo operacional.

- capacidade de campo operacional: foi calculada pela Equação 1:

$$Cco = Lt \times V \times 0,36 \times Ef \quad (1)$$

em que,

Cco - capacidade de campo operacional da semeadora-adubadora, ha h^{-1} ;

Lt - largura da faixa trabalhada pelo equipamento, m;

V - velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora, m s^{-1} , e

0,36 - fator de conversão de unidades para expressar o resultado em ha h^{-1} ;

Ef - eficiência de campo (75%).

2.6 Avaliações do solo

Para as variáveis do solo foram avaliados:

- resistência mecânica do solo à penetração: utilizou-se um penetrômetro eletrônico denominado de PNT-Titan, constituído de célula de carga com capacidade nominal de 150 kgf (1500 N), haste com ponteira cônica, acoplado a um quadriciclo. Os dados foram coletados pelo próprio aparelho em intervalos de 1 cm. Foram coletados 5 pontos por parcela antes da semeadura, até a profundidade de 30 cm.
- teor de água do solo: as amostras para determinação do teor de água do solo foram coletadas utilizando-se um trado holandês nas camadas de 0-10 e 10-20 cm sendo acondicionadas em recipientes de alumínio e levadas ao laboratório, onde permaneceram por 24 horas em estufa a 105 °C, e calculado posteriormente em base seca.
- cobertura vegetal: os resíduos vegetais da cultura antecessora ao milho foram avaliados em três momentos: antes do preparo localizado do solo, após o preparo e após a semeadura do milho. O método de avaliação foi adaptado de Hartwig e Laflen (1978) e Laflen et al. (1981), que consistiu na colocação de duas linhas na diagonal da parcela, sendo demarcada com fita, totalizando 200 pontos. Foram considerados como resíduos vegetais os restos culturais que se apresentavam sob a demarcação da fita.

2.7 Mobilização do solo

Realizou-se a abertura do sulco manualmente até ser localizada a camada compactada, sendo possível modelar o sulco. As variáveis avaliadas foram:

- largura e profundidade do sulco: estas avaliações foram realizadas com a ajuda de um perfilômetro constituído de 45 varetas, espaçadas de 1 cm e altura máxima de 30 cm. Ao fundo do perfilômetro colocou-se um quadro de linhas na horizontal com espaçamento de 0,5 cm para facilitar a leitura, sendo a mesma analisada por imagens fotográficas. O posicionamento da extremidade superior das varetas copia a forma geométrica do sulco, podendo-se então realizar as leituras. A largura foi definida da primeira até a última vareta a qual, ao caírem no solo, apresentaram medidas distintas. A profundidade máxima foi definida pela média das três varetas que apresentaram maior medida.

- área mobilizada do sulco: após as leituras das imagens fotográficas os dados foram lançados em uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel®, em que se obteve a área da seção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora, em cm², resultante da integral da regra dos trapézios (Equação 2) proposto por Ruggiero e Lopes (1996).

$$\int f(x) = \frac{h}{2} \{f(x_0) + 2[f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{m-1})] + f(x_m)\} \quad (2)$$

em que,

$\int f(x)$ = integral numérica para área mobilizada do solo,

h = distância entre as varetas do perfilômetro (1 cm),

x = valor das leituras das varetas (cm).

- ângulo de abertura do sulco: para avaliar os ângulos do sulco (direito e esquerdo) utilizaram-se as mesmas imagens avaliadas para área mobilizada do solo. As varetas do perfilômetro serviram de referência para encontrar os catetos oposto e adjacente, e posteriormente o ângulo real do sulco, conforme Figura 2. Para encontrar o ângulo de abertura do sulco, primeiramente deve-se saber que são dois ângulos considerando o centro do sulco, ou seja, ângulo direito e esquerdo. Observando as imagens do perfilômetro e tomando como base o maior valor de profundidade do sulco (centro do sulco), calcula-se a distância entre o valor maior de profundidade e o ponto (imaginário) que a linha do ângulo toca a vareta. Em seguida, encontra-se o valor de altura entre o ponto máximo de profundidade e o valor em que a linha imaginária do ângulo toca a ponta da vareta. Assim, forma-se um triângulo abaixo do ângulo. Por este triângulo é possível dividir o cateto oposto (a) pelo cateto adjacente (b), encontrando-se a tangente (α) e transformando-se para graus. O ângulo (θ) é calculado pelo ângulo de 90° menos o arco-tangente (em graus) calculado. Este método foi criado em função do proposto por Spoor e Godwin (1978), Godwin et al. (1984) e Smith et al. (1989), em que propõem que o sulco de semeadura deve apresentar dois ângulos de 45°, considerando como o ideal para a implantação de culturas.

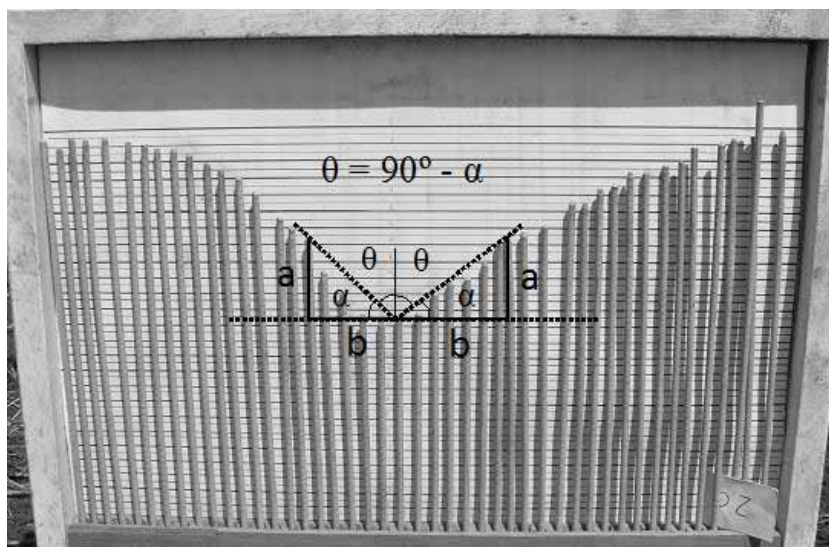


Fig 2. Método de análise dos ângulos do sulco.

- força de tração por área de solo mobilizado: primeiramente dividiu-se os dados de força na barra por fileira de semeadura, transformando-os também em Newtons. Posteriormente, dividiu-se pela área mobilizada de solo (N cm^{-2}).
- consumo de combustível por volume de solo mobilizado: para calcular esta variável, inicialmente transformaram-se os dados de área de solo mobilizado (cm^2) em volume de solo mobilizado por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Posteriormente, transformaram-se os dados de consumo de combustível de litros para mililitro e por último dividiu-se este por volume de solo mobilizado (ml m^{-3}).

2.8 Análise estatística

A análise estatística utilizada foi a ANOVA, utilizando-se o teste F de Snedecor e, quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey à 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Quando os valores apresentaram assimetria pelo teste de Anderson-Darling, aplicou-se a transformação [$X = \log(x)$].

3. Resultados e discussão

3.1 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) apresentou valores de 0,37 a 6,65 MPa, sendo crescente a RMSP do TAS mais úmido para o TAS mais seco (Figura 3), vale ressaltar que os valores elevados com o solo mais seco estão próximos de 20 cm de profundidade, pois este sistema plantio direto já está no

décimo segundo ano, corroborando com Ros et al. (2011) que encontraram comportamento semelhante da RMSP em função do teor de água do solo em Latossolo Vermelho distroférico. Observa-se também que a camada de solo compactada surgiu a partir do TAS3 até o TAS1. Devido ao solo apresentar mais água no TAS4, não houve resistência à penetração significativa. Para Cunha et al. (2002), com o aumento no teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição na resistência mecânica do solo.

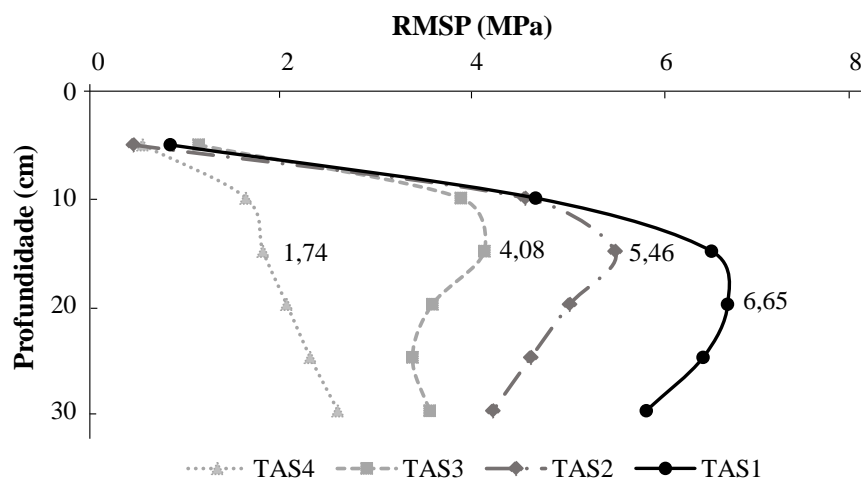


Fig 3. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em cada teor de água do solo (TAS) no momento da passagem do conjunto trator-semeadora.

3.2 Mobilização do solo

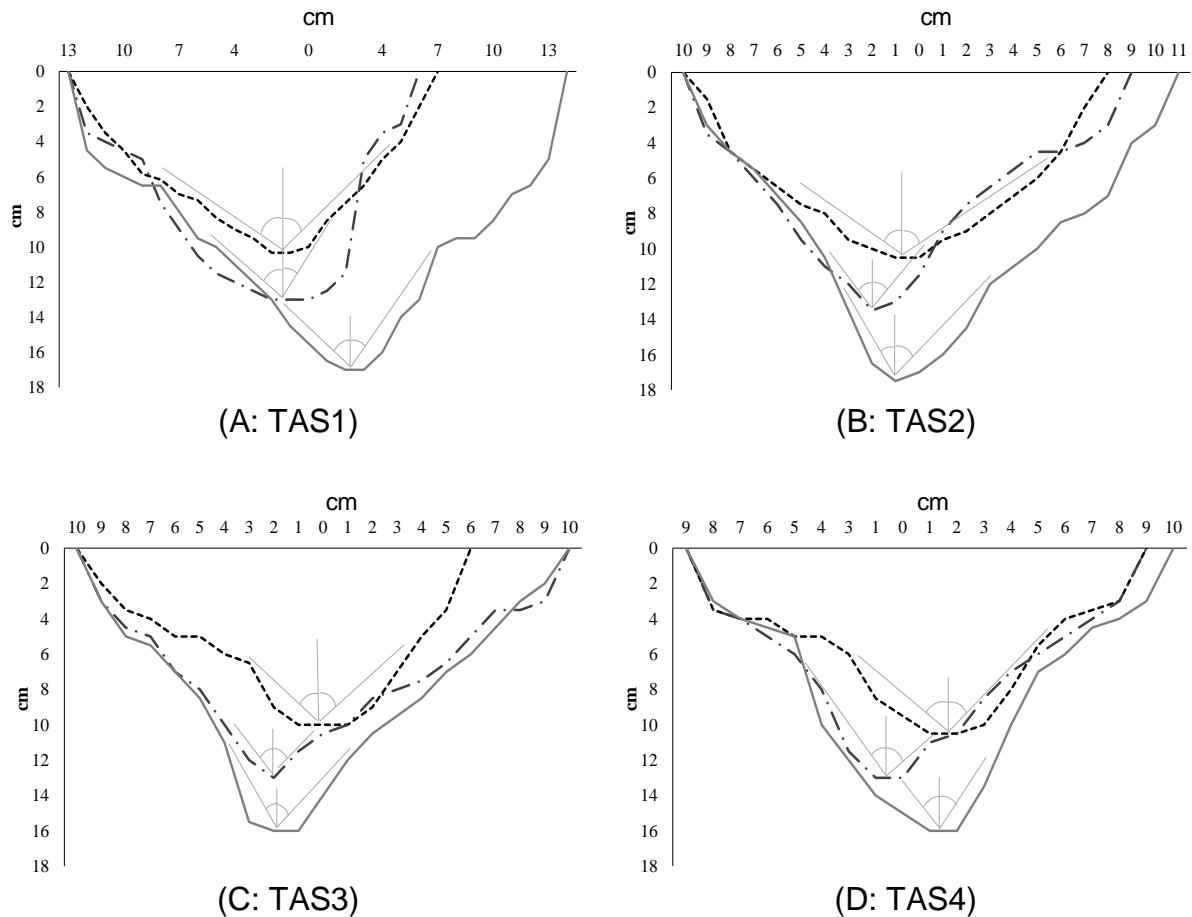
No maior teor de água do solo ocorreu maior remoção de resíduos vegetais e solo sobre o sulco (Tabela 2). Esse fato é devido ao alto teor de água e argila no solo (469 g kg⁻¹ de argila), fazendo com que o solo e os resíduos vegetais aderissem à haste sulcadora, que dificultou o retorno dos mesmos para o sulco.

Tabela 2. Análise da síntese de variância para cobertura vegetal na pré e pós-semeadura, largura e profundidade do sulco e mobilização do solo.

Profundidade (P)	Cobertura vegetal (%)		Largura	Profundidade cm	Mobilização do solo cm ²
	Pré	Pós			
P1	72 a	49 a	16,0 b	10,0 c	103 c
P2	70 ab	45 ab	17,5 b	13,2 b	135 b
P3	63 b	42 b	20,6 a	16,6 a	196 a
TAS					
T1	66	52	21,3 a	13,5	175 a
T2	73	48	18,6 b	13,3	154 b
T3	65	44	17,5 b	13,4	134 c
T4	67	41	14,8 c	12,9	116 c
CV (%)	16,1	19,1	10,8	5,7	12,4

TAS: teor de água do solo; Letras minúsculas representa a análise pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); quando sem letras, não-significativo; CV: coeficiente de variação.

Para a variável largura do sulco, observa-se que na profundidade P3, a largura foi maior que as demais profundidades de trabalho (Tabela 2). Observa-se também que, mesmo com aumento da profundidade de P1 para P2, não houve aumento na largura do sulco. Em profundidades maiores, a largura da ponteira rompe o solo, porém, não com ângulos de 45° até a superfície, isso é um indicativo de profundidade crítica. Para Godwin (2007), solos secos e mais densos tendem a produzir ruptura crescente em profundidades maiores para um determinado formato de haste, do que em solos soltos e úmidos, conforme constatado na Figura 4.



Fatores	∠ Direito	∠ Esquerdo
P1	41° a	40° a
P2	36° b	33° b
P3	29° c	31° b
TAS1	38°	35°
TAS2	35°	35°
TAS3	36°	35°
TAS4	33°	36°
CV (%)	6,6	6,5

P: profundidade de trabalho; TAS: teor de água do solo; ∠: ângulo; letras minúsculas na coluna representam a análise pelo teste de Tukey ($P < 0.05$); quando sem letras, não-significativo. CV: coeficiente de variação

Fig 4. Perfil e ângulo de abertura do sulco em função do teor de água do solo (TAS) e da profundidade de trabalho (P) da haste sulcadora.

A mobilização do solo foi maior no menor teor de água (Tabela 2), diminuindo com o aumento do mesmo, isso demonstra diretamente o efeito no solo pelo perfil do sulco (Figura 4). A haste sulcadora quando configurada para trabalhar na profundidade P3 mobilizou o solo mais que as demais profundidades de trabalho e,

quanto mais úmido o solo, menor foi a mobilização, até o TAS 3, pois a partir disso não há mobilização significativa. De acordo com Godwin & O'Dogherty (2007), o ângulo de inclinação do sulcador, teor de água do solo, compactação e resistência mecânica à penetração também interferem na maneira em que o solo é mobilizado e, conseqüentemente, pode afetar a profundidade crítica. Como constatado com os dados da Tabela 2 e da Figura 3, a haste sulcadora chegou a 16,6 cm de profundidade e a camada compactada na RMSP apresentou-se entre 15 e 25 cm. Spoor & Godwin (1978) encontraram uma profundidade de trabalho crítica para todos as ponteiros testadas abaixo do qual a compactação ocorre, causando baixa eficácia na mobilização do solo. Os autores complementam que esta profundidade crítica depende da largura, inclinação e comprimento da ponteira da haste e do teor de água e densidade do solo, ou seja, cada tipo de solo necessita de uma geometria de haste específica, seja com ou sem asa na ponteira.

Ressalta-se que de acordo com Godwin & Spoor (1977), a profundidade crítica de trabalho é de até 7 vezes a espessura da ponteira da haste (hastes subsoladoras), porém, observa-se que a profundidade crítica para a haste sulcadora utilizada é de 14,7 cm, ou seja, não haveria mobilização do solo a partir desta profundidade, porém, neste trabalho constatou-se que a profundidade crítica foi de 16,6 cm, ou seja a relação foi de 7,9 vezes a espessura da ponteira. Sendo assim, cada geometria de haste pode causar diferentes respostas no solo em determinada condição e sistema de manejo.

Quanto maior a profundidade de trabalho, menor é o ângulo de abertura do sulco, devido à ponteira da haste não apresentar asas, causando o afunilamento do sulco (Fig. 4). Não houve diferença para o fator teor de água do solo e observa-se que em nenhum dos tratamentos a haste sulcadora mobilizou o solo em ângulos de 45°, conforme Spoor & Godwin (1978) e Godwin et al. (1984).

O Latossolo Vermelho eutroférico estudado apresenta grande quantidade de argila e está sob longo tempo com sistema plantio direto, em que, o fato da haste não ter criado os ângulos do sulco de 45° propostos pelos autores está relacionado com a textura argilosa e possivelmente com a quantidade de microporos do solo que este tipo de sistema de preparo é capaz de formar, sendo necessário o uso de

hastes com ponteiros aladas para que possa aumentar o ângulo de mobilização do solo em profundidades de trabalho maiores.

3.3 Produtividade do milho

Não houve diferença estatística para as variáveis da cultura do milho (Tabela 3). Fato este explicado pelas condições de solo e sistema de preparo. De acordo com Castro et al. (2009), em Latossolo Vermelho eutroférico, sob sistema plantio direto, constata-se maior taxa de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado em superfície e em profundidade o que facilita o desenvolvimento das raízes e estabilidade na produção.

Tabela 3. Síntese da análise de variância para as variáveis da cultura do milho como produtividade de grãos, biomassa e estande final.

Profundidade (P)	Produtividade	Biomassa	Estande Final
	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	plantas ha ⁻¹
P1	6.272	6.840	47.619
P2	6.075	6.972	48.710
P3	6.222	7.194	50.298
TAS			
TAS1	6.315	7.743	50.926
TAS2	6.197	6.806	48.280
TAS3	6.255	7.045	47.884
TAS4	5.992	6.414	48.813
CV (%)	8,1	18,9	2,1

TAS: teor de água do solo; Letras minúsculas representa a análise pelo teste de Tukey (P<0,05); quando sem letras, não-significativo; CV: coeficiente de variação.

A cultura do milho apresentou produtividade média de grãos de 6.190 kg ha⁻¹, biomassa de 7.002 kg ha⁻¹ e estande final de 48.976 plantas ha⁻¹. Os valores de produtividade encontrados neste trabalho apresentam-se pouco acima da produtividade média do Brasil na Safra 2012/13 que foi da ordem de 5.149 kg ha⁻¹ (Conab, 2014), podendo este fato estar relacionado à falta de precipitação de chuva durante o desenvolvimento da cultura na região de estudo.

3.4 Desempenho do conjunto mecanizado

Na maior profundidade de trabalho da haste ocorreu maior consumo de combustível que nas demais com aumento de 11,5% do TAS4 para o TAS1

(Tabela 4). O mesmo fato ocorreu para as variáveis FTmédia, FTpico e PB média, em que, a maior demanda de tração na barra pela semeadora-adubadora ocorreu em profundidade de trabalho maior. Assim, com o solo mais seco, há aumento da resistência à penetração, principalmente quando as hastes sulcadoras trabalham na camada compactada.

Tabela 4. Síntese da análise de variância para as variáveis de desempenho do trator como consumo horário (CH) e operacional (CO) de combustível, força de tração (FTmédia e FTpico) e potência na barra (PBmédia e PBpico).

Profundidade (P)	CH L h ⁻¹	CO L ha ⁻¹	FTmédia ----- kN -----	FTpico -----	PBmédia ----- kW -----	PBpico -----
P1	6,9	6,4 b	10,6 c	11,1 b	11,8 b	12,5 a
P2	7,4	6,9 b	11,0 b	11,5 b	12,1 b	12,7 a
P3	8,6	8,8 a	12,0 a	12,9 a	13,3 a	13,4 b
TAS						
TAS1	8,0	7,8 a	11,4 a	12,0	12,1	12,8 b
TAS2	8,1	7,5 ab	11,5 a	12,0	12,8	13,4 a
TAS3	7,7	7,2 ab	11,1 b	11,6	12,2	12,8 b
TAS4	6,8	6,9 b	10,7 c	11,7	12,3	12,4 b
CV (%)	8,9	9,3	1,75	9,2	8,6	3,1

TAS: teor de água do solo; Letras minúsculas representa a análise pelo teste de Tukey (P<0,05); quando sem letras, não-significativo; CV: coeficiente de variação.

Para força de tração média, constata-se que quanto mais úmido o solo, menor é a demanda, o oposto ocorreu em trabalho de Casão Júnior et al. (2000) trabalhando em solos argilosos, em que relataram que a força de tração requerida por uma semeadora-adubadora equipada com hastes sulcadoras aumentou quando a consistência do solo passou de friável a plástica. Também em contraponto, Sánchez-Girón et al. (2005), avaliando três hastes sulcadoras, encontraram maiores valores de força de tração com o aumento do teor de água em solo de textura média (210 g kg⁻¹ de argila).

Observou-se também a tendência crescente de força de tração média com o aumento da profundidade de trabalho, corroborando com Palma et al. (2010), pois observaram que quando a ponteira da haste trabalha em camadas de solo de maior resistência, maior é a demanda de força de tração em relação ao se trabalhar com a ponteira abaixo dessas camadas.

A força de tração de pico por haste foi de 3,2 kN para a maior profundidade de trabalho, abaixo do limite proposto pela Asae (2003), que é de 3,4 kN por fileira. Para Conte et al. (2011) pequenas mudanças na profundidade de trabalho são capazes de aumentar notavelmente a demanda de força pelas hastes sulcadoras.

Houve interação entre os fatores estudados para a variável consumo horário de combustível do trator sendo o desdobramento apresentado na Figura 5. Do TAS1 ao TAS3 nota-se que na P3 o consumo de combustível foi maior, apresentando baixa demanda de combustível apenas no TAS4. Quando a haste sulcadora trabalhou em teor de água do solo mais alto (TAS4) o consumo foi menor em função das hastes romperem o solo mais facilmente, principalmente pelo solo apresentar textura argilosa, facilitando o deslizamento do equipamento sob o solo e também pelo fato da RMSP ser menor (Figura 1).

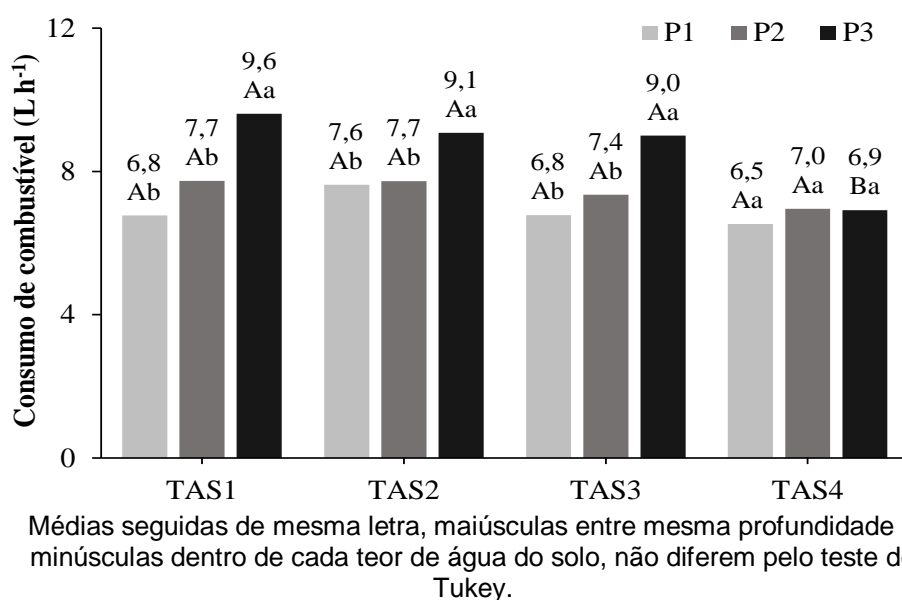
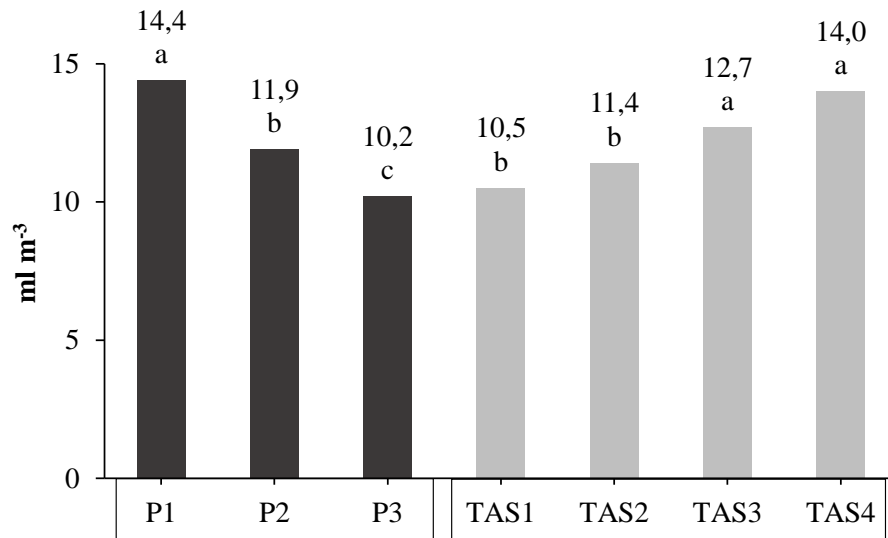


Fig 5. Interação dos tratamentos profundidade de trabalho (P) e teor de água do solo (TAS) para a variável consumo horário de combustível.

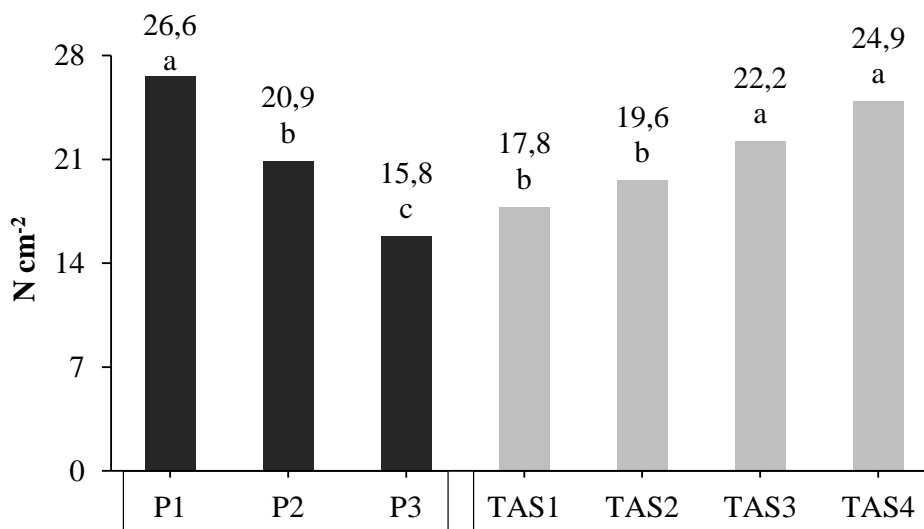
O consumo de combustível por volume de solo mobilizado (Figura 6) foi menor na profundidade de trabalho P3 comparado às demais. Quando a haste sulcadora trabalhou nos TAS 1 e 2, o consumo também foi menor, pois em condições de solo mais seco, mesmo a demanda de combustível sendo maior, o volume de solo mobilizado também aumenta. Assim, a partir do TAS3 o consumo de combustível aumenta e o volume de solo mobilizado diminui.



P: profundidades; TAS: teor de água do solo. Teste significativo a 1% para ambos os tratamentos. Coeficiente de variação: 6,3%

Fig 6. Análise de variância para a variável consumo de combustível por volume de solo mobilizado.

O fato ocorrido no consumo de combustível também aconteceu para a força de tração por área de solo mobilizada (Figura 7), sendo os menores valores para P3 e TAS 1 e 2 devido a mobilização do solo ter sido maior em profundidade de trabalho maior e em condições de solo com baixo teor de água. A força de tração por área de solo mobilizada apresentou diminuição significativa de 41% da P1 para a P3, e 18% dos TAS 3 e 4 para os TAS 1 e 2.



P: profundidades; TAS: teor de água do solo. Teste significativo a 1% para ambos os tratamentos. Coeficiente de variação: 4,7%

Fig 7. Análise de variância para a variável força de tração por área de solo mobilizado.

4. Conclusões

Baseado nos resultados deste estudo, conclui-se que:

- (i) A haste sulcadora mobilizou mais o solo nas maiores profundidades, porém, este aumento não foi proporcional a partir do TAS3, considerando-o como o limite de teor de água do solo para implantação de culturas em Latossolo Vermelho eutrófico com 12 anos de sistema plantio direto.
- (ii) A produtividade, biomassa e estande final da cultura do milho não foram afetados pelos fatores profundidade de trabalho e teor de água do solo.
- (iii) Em geral, recomenda-se a profundidade de trabalho P1 e teor de água do solo TAS3 em Latossolo Vermelho eutrófico com 12 anos de sistema plantio direto.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela CAPES-Brasil.

Referências

- Altuntas, E., Ozgoz, E., Taser, O. F., Tekelioglu, O., 2006. Assessment of different types furrow openers using a full automatic planter. **Asian J. Plant Sci.** 5, 537-542.
- Andreolla, V.R.M., Gabriel Filho, A., 2006. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária. **J. Brazilian Assoc. of Agric. Eng.** 26, 768-776.
- Asae - American Society of Agricultural Engineers (1999). Agricultural machinery management. In: **ASAE Standards 1999: Standards engineering practices data.** Saint Joseph, ASAE. pp. 359-366.
- Asae - American Society of Agricultural Engineers. Agricultural machinery management data. In: **Asae Standards 2003: Standards engineering practices data.** St. Joseph, 2003. pp. 373-380.
- Casão Júnior, R., Araújo, A.G., Ralisch, R., 2000. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesq. Agropec. Bras.** 35, 523-32.
- Castro, O.M., Vieira, S.R., Siqueira, G.M., Andrade, C.A., 2009. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutrófico sob diferentes sistemas de preparo. **Bragantia.** Campinas, 68, 1047-1057.
- Cepik, C.T.C., Trein, C.R., Levien, R., 2005. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **J. Brazilian Assoc. of Agric. Eng.** 25, 447-457.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas safra 2012/2013.** Brasília: Conab, 2014.
<<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>>
- Conte, O., Levien, R., Debiasi, H., Stürmer, S.L.K., Mazurana, M., Müller, J., 2011. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosystems. **Soil Tillage R.** 114, 37-42.
- Cunha, J.P.A.R., Vieira, L.B., Magalhães, A.C., 2002. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Eng. in Agric.** 10, 1-7.

- Friedrich, T., Kassam, A. Mechanization and the global development of conservation agriculture. Conservation Agriculture 2011. In: 23rd Annual Saskatchewan Soil Conservation Association (SSCA) Conference, Saskatoon, 15p., 2011.
- Germino, R., Benez, S.H., 2006. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energ. Agric.** 21, 85-92.
- Godwin, R.J., Spoor, G., 1977. Soil failure with narrow tines. **J. Agric. Eng. Res.** 22, 213-228.
- Godwin, R.J., Spoor, G., Soomro, M.S., 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. **J. Agric. Eng. Res.** 30, 47-56.
- Godwin, R.J., 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil Tillage R.** 97, 331-340.
- Godwin, R.J., O'Dogherty, M.J., 2007. Integrated soil tillage force prediction models. **J. Terramech.** 44, 3-14.
- Lafren, J.M., Amemiya, M., Hintz, E. A. 1981. Measuring crop residue cover. **J. Soil Water Conserv.** 36, 341-343.
- Levien, R., Furlani, C.E.A., Gamero, C.A., Conte, O., Cavichioli, F.A., 2011. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciênc. Rural.** 41, 1003-1010.
- Ling-Ling, L., Gao-Bao, H., Ren-Zhi, Z., Bellotti B., LI, G., Chan, K.Y., 2011. Benefits of conservation agriculture on soil and water conservation and its progress in China. **Agric. Sci. China.** 10, 850-859.
- Lithourgidis, A.S., Tsatsarelis, C.A., Dhima, K.V. 2005. Tillage effects on corn emergence, silage yield, and labor and fuel inputs in double cropping with wheat. **Crop Sci.** 45, 2523-2528.
- Palma, M.A.Z., Volpato, C.E.S., Barbosa, J.A., Spagnolo, R.T., Barros, M.M., Boas, L.A.V., 2010. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciênc. Agrotec.** 34, 1320-1326.
- Ros, V.V., Souza, C.M.A., Vitorino, A.C.T., Rafull, L.Z.L., 2011. Oxisol resistance to penetration in no-till system after sowing. **J. Brazilian Assoc. of Agric. Eng.** 31, 1104-1114.

- Sánchez-Girón, V., Ramírez, J.J., Litago, J.J., Hernanz, J.L., 2005. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. **Soil Tillage R.** 81, 25-37.
- Smith D.L.O., Godwin, R.J., Spoor, G., 1989. Modelling soil disturbance due to tillage and traffic. In: Larson, W.E., Blake, G.R., Allmaras, R.R., Voorhees, W.B., Gupta, S.C. (Eds.). **Mechanics and related processes in structured agricultural soils.** Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 121–136.
- Spoor, G., Godwin, R.J., 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **J. Agric. Eng. Res.** 23, 243–258.
- Uri, N.D., 2000. An evaluation of the economic benefits and costs of conservation tillage. **Environ. Geol.** 39, 238–248.
- Uri, N.D., Atwood, J.D., Sanabria, J., 1999. The environmental benefits and costs of conservation tillage. **Environ. Geol.** 38, 111–125.

Nomenclaturas

θ	Ângulo definido para abertura do sulco
A	Ângulo para descobrir o θ ($90^\circ - \alpha$)
\int	Integral da regra do trapézio para encontrar a área de solo mobiliado
MPa	Unidade de resistência do solo
RMSP	Resistência mecânica do solo à penetração
TAS	Teor de água do solo
P	Profundidade de trabalho da haste sulcadora

CAPÍTULO 4 - Mobilidade do carbono, desenvolvimento do milho e desempenho do trator em função da mobilização do solo em franco-arenoso Dothan

Artigo submetido na Revista Científica Plant and Soil

Resumo – O sistema de preparo localizado do solo está se expandindo a cada dia, pois com maior mobilização do solo em sistema conservacionista, é possível preservar a estrutura do solo, com resíduos em sua superfície, e aumentar a produtividade das culturas de grãos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a área de solo mobilizado, o desenvolvimento da cultura do milho, o desempenho operacional do trator e a movimentação do carbono (C) do solo em função da profundidade de trabalho em preparo localizado do solo. O experimento foi realizado no North Florida Research and Education Center-Universidade da Florida em um solo franco-arenoso Dothan (Kandiudult Plíntico térmico), que apresenta estrutura granular fina na camada argilosa, sob preparo do solo localizado. Foram utilizados o milho Cropland 6640 e o Pionner 2023YHR. As profundidades do preparo localizado do solo foram de 26, 32 e 38 cm. Para o preparo do solo, utilizou-se o KMC Rip-Strip que constituído de duas hastes subsoladoras, espaçadas de 0,90 m. O Carbono orgânico total se acumulou em maior quantidade na camada 0,0-0,10 m do solo. Nos primeiros dias após o preparo localizado, o solo apresentou maior emissão de CO₂ em área mobilizada. O solo não-mobilizado (entre-fileira) com resíduos da cultura de cobertura sobre sua superfície apresentou os maiores valores de emissão total de CO₂, sendo superior às áreas de solo mobilizado sem resíduos. A cultivar Croplan apresentou maior estande inicial e maior produtividade de grãos de milho. Em solo franco-arenoso Dothan, mesmo utilizando a maior profundidade de preparo localizado do solo, o consumo de combustível não se altera, tampouco a patinagem dos rodados do trator.

Palavras-chave: fluxo de CO₂, solo mobilizado, consumo de combustível, preparo localizado, produtividade do milho.

Introdução

O preparo localizado do solo é considerado como uma das práticas agrícolas mais eficazes para reduzir a emissão de CO₂ e sequestrar o carbono atmosférico no solo (Kern e Johnson 1993; Curtin et al. 2000; Al-kaisi e Yin 2005). Estudos mostraram que a diminuição da intensidade do preparo reduz a mobilização do solo e as atividades microbianas, reduzindo assim a emissão de CO₂ (Lal e Kimble 1997; Curtin et al. 2000).

O preparo localizado do solo em fileiras pode ser benéfico para a melhoria em longo prazo da qualidade do solo, controle de erosão e proteção do ambiente (Morrison, 2002; Luna e Staben, 2003).

De acordo com Celik et al. (2013), o preparo localizado do solo (preparo em faixas ou strip-tillage) é uma prática de conservação em que apenas as fileiras de semeadura são preparadas, geralmente, totalizando menos de 50% de área mobilizada.

A avaliação de mecanismos de abertura do solo tem importância para o meio científico e para agricultores que buscam ferramentas de ótima eficiência (maior produtividade e melhor desempenho das máquinas) de acordo com a disposição que cada solo apresenta. Assim, são vários os trabalhos que buscam essa eficiência utilizando hastes (Altikat et al., 2013; Furlani et al., 2013; Troger et al., 2012; Akbarnia et al., 2010).

As variáveis do projeto e seleção da geometria apropriada para determinados implementos de preparo são: profundidade, largura e ângulo de inclinação (Godwin, 2007).

Germino e Benez (2006) avaliaram dois tipos de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em quatro profundidades de trabalho (0,12; 0,23; 0,28 e 0,33 m) em Nitossolo Vermelho distroférrico e concluíram que quando se trabalha na profundidade recomendada não há diferença no desempenho das hastes, mas quando se ultrapassa profundidade crítica de trabalho as diferenças se acentuam entre elas.

De acordo com Baker et al. (2007), a mobilização do solo por práticas agrícolas foi a principal causa da perda histórica de carbono orgânico do solo na América do Norte, e que o sequestro substancial de deste pode ser alcançado pela alteração do

preparo convencional por métodos menos intensivos conhecidos como sistemas conservacionistas do solo.

O dióxido de carbono é um substrato para a fotossíntese, que é a chave da reação da qual as plantas se assimilam com o carbono, e, pelo menos temporariamente, sequestrar-o neste cenário (Salisbury e Ross, 1985).

O armazenamento de carbono orgânico do solo em solos cultiváveis depende da quantidade e localização dos resíduos de culturas retornados e o sistema de preparo associado (Allmaras et al., 2000).

Streck (2005) compilou trabalhos que demonstraram que as plantas, de modo geral, aumentaram sua produção em 28 % em relação ao controle (concentrações atuais de CO₂ na atmosfera). Realizando uma estratificação do aumento na produção dessas plantas, os autores observaram incremento na ordem de 32% para cereais de ciclo fotossintético C3 (arroz, mandioca, cevada, etc.).

Outro fator que contribui para a variação nos teores de carbono do solo é o seu manejo, especialmente, aquele que utiliza o revolvimento do solo antes da implantação de cada cultura, ou a incorporação de corretivos e fertilizantes, ocasionando intensa mobilização do solo, e estimulando a ação dos microrganismos decompositores (Bayer et al., 2000). Além disso, mobilização física, química e biológica do solo, contribuem para o aquecimento global e pela emissão de CO₂ (Urquiaga et al., 1999), uma vez que a matéria orgânica do solo é o maior reservatório de carbono da superfície terrestre (Smith, 2004).

A adoção de práticas agrícolas, incluindo o manejo conservacionista do solo, que aumenta a deposição de resíduos de plantas e ao mesmo tempo reduz a mobilização do solo, têm sido defendidas para ajudar a repor o carbono perdido do solo (Pacala e Socolow, 2004; Sperow et al., 2003). Os benefícios do carbono do solo, além de esforços de mitigação das alterações climáticas, incluem na maior produtividade de plantas, devido à retenção de água e nutrientes e na melhoria da qualidade do solo, do ar e da água (Reicosky, 2001).

Desta forma, mudanças no ambiente do solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar a um rápido declínio deste reservatório, colaborando para o aumento das emissões de CO₂ (Lal e Kimble, 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a área de solo mobilizado, o desempenho do trator e a produtividade de grãos em função da profundidade de trabalho e de híbridos de milho em preparo localizado do solo.

Materiais e métodos

Local do experimento

O experimento foi realizado no North Florida Research and Education Center - NFREC/IFAS em um franco-arenoso Dothan (Kandiudult Plíntico térmico). Na camada 0-23 cm, o solo apresenta cor marrom, areia fina, muito friável, muitas raízes grossas, muito ácido. Na camada 23 a 43 cm apresenta cor marrom amarelado arenoso fino, muito friável, raízes médias comuns, muito ácido. Na camada 43 a 124 cm apresenta cor marrom amarelado areno-argiloso, médio, friável, muito ácido.

Os resíduos vegetais deixados sobre o solo foram da cultura da aveia, dessecada 30 dias antes do início da implantação da cultura do milho, formando cobertura vegetal de 86%.

Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com esquema fatorial 2 x 3, sendo duas cultivares de milho e três profundidades de preparo do solo, com quatro repetições.

Equipamentos e sementes

Foram utilizados o milho Cropland 6640 e o Pionner 2023YHR, sendo o espaçamento da cultura de 0,90 m entre fileiras com 5,4 sementes m⁻¹. A semeadura foi realizada mecanicamente com semeadora pneumática de duas fileiras e discos duplos desencontrados para deposição da semente.

Para o preparo localizado do solo, utilizou-se o KMC Rip-Strip que consiste de 2 hastes subsoladoras (Figura 1), espaçadas de 0,90 m.

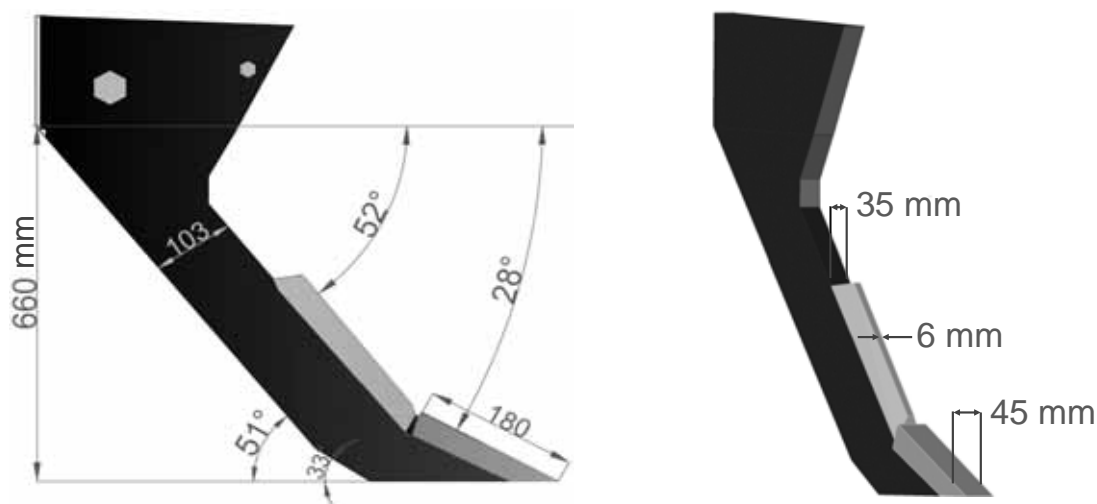


Fig 1. Características e dimensões da haste subsoladora para preparo localizado do solo.

Para tracionar o KMC Rip-Strip foi utilizado o trator New Holland TS110 com tração 4x2 TDA e potência máxima no motor de 109,5 cv (80,5 kW). A velocidade média do conjunto mecanizado foi de 4,5 km h⁻¹.

As profundidades de preparo definidas foram: 26 cm, 32 cm e 38 cm.

Avaliação do milho

Para a cultura do milho utilizou-se as variáveis:

- número médio de dias para emergência: foi realizada por meio de contagens diárias desde a primeira plântula emergida até a estabilização da contagem, em doze metros das duas fileiras centrais, sendo seis metros em cada fileira, adaptado de Vieira e Carvalho (1994).
- estande inicial e final: foi contado o número de plantas na área útil da parcela, no início do ciclo, após a estabilização e no final do ciclo da cultura, transformando posteriormente os dados em plantas ha⁻¹.
- produtividade de grãos: foram coletadas as espigas da área útil de cada parcela e as mesmas trilhadas com auxílio de trilhadora mecânica. Os grãos foram separados, pesados, os valores foram corrigidos para a base úmida de 13%, e em seguida, extrapolados para kg ha⁻¹.
- biomassa: foi pesada toda a parte aérea das plantas da área útil da parcela e após a trilha dos grãos, descontou-se o peso destes, obtendo assim, a massa da palha.

Retirou-se uma amostra para secagem em estufa com circulação forçada de ar, por 72 h a 65°C, determinando-se a porcentagem de água e, em seguida, efetuou-se o cálculo da produtividade de massa seca de palha (kg ha^{-1}).

Avaliação do trator

Para o desempenho operacional do trator foram avaliados:

- consumo horário de combustível: foi calculado pelo volume de combustível (ml) consumido durante operação e o tempo de deslocamento (s) na parcela experimental, adaptado de Maziero et al. (1992) e Yanai et al. (1999).
- patinagem dos rodados: a patinagem das rodas motrizes do trator foi determinada pela relação entre a velocidade real do trator em regime de trabalho e a velocidade do trator sem carga, conforme norma ASAE EP496.2 (ASAE, 2003).

Avaliação do solo e cobertura vegetal

No solo foram avaliadas as variáveis:

- resistência mecânica do solo à penetração (RMSP): utilizou-se um penetrômetro hidráulico, constituído de célula de carga, hastes com ponteira cônica espaçadas de 45 cm, acoplado em estrutura metálica no sistema hidráulico de três pontos do trator, conforme (Raper et al., 1999). Foram coletados 5 pontos por parcela com duas hastes coletando dados na fileira de solo preparado e outra na entre-fileira.
- teor de água do solo: as amostras para determinação do teor de água do solo foram coletadas utilizando-se um trado holandês na camada de 0-50 cm, fracionadas em cinco partes iguais, ou seja, cinco profundidades, sendo calculado em base seca.
- cobertura vegetal: os resíduos vegetais da cultura da aveia (antecessora ao milho), foram avaliados pelo método adaptado de Hartwig e Laflen (1978) e Laflen et al. (1981), que consistiu na colocação de duas linhas na diagonal da parcela, sendo demarcada com fita, totalizando 120 pontos. Foram considerados como resíduos vegetais os restos culturais que se apresentavam sob a demarcação da fita.

Mobilização do solo

Realizou-se a abertura do sulco de manualmente até ser localizada a camada compactada, sendo possível modelar o sulco. As variáveis avaliadas foram:

- largura e profundidade do sulco: estas avaliações foram realizadas com perfilômetro constituído de 29 varetas, espaçadas de 2 cm e altura de 55 cm. Ao fundo do perfilômetro colocou-se uma escala de linhas na horizontal com espaçamento de 0,5 cm para facilitar a leitura, sendo a mesma analisada por imagens fotográficas digitais. O posicionamento da extremidade superior das varetas copia a forma geométrica do sulco, podendo-se então realizar as leituras. A largura foi definida da primeira até a última vareta a qual, ao caírem no solo, apresentaram medidas distintas. A profundidade máxima foi definida pela média das duas varetas que apresentaram maior medida.

- área mobilizada do sulco: após as leituras das imagens os dados foram lançados em uma planilha eletrônica do programa Microsoft Excel®, em que se obteve a área da seção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora, em cm², resultante da integral da regra dos trapézios (Equação 1) proposto por Ruggiero e Lopes (1996).

$$\int (x) = \frac{h}{2} \{f(x_0) + 2[f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{m-1})] + f(x_m)\} \quad (1)$$

em que,

$\int f(x)$ = integral numérica para área mobilizada do solo,

h = distância entre as varetas do perfilômetro (1 cm),

x = valor das leituras das varetas (cm).

- consumo de combustível por volume de solo mobilizado: para calcular esta variável, inicialmente transformaram-se os dados de área de solo mobilizado (cm²) em volume de solo mobilizado por hectare (m³ ha⁻¹). Posteriormente, transformaram-se os dados de consumo de combustível de litros para mililitro e por último dividiu-se este por volume de solo mobilizado (ml m⁻³).

Mobilidade do carbono no solo

- fluxo de gases CO₂: primeiramente foram fixados três anéis de PVC no solo, na fileira e entre-fileira da cultura do milho, porém foram retirados os resíduos vegetais da parte de dentro dos anéis e também outro anel na entre-fileira da cultura com

resíduos dentro do mesmo. Para as medições do fluxo de CO₂, utilizou-se o equipamento LI-COR LI8100 que consiste de câmara de avaliação de gases de 20 cm de diâmetro, obtendo leituras a cada segundo. Junto desta avaliação foram utilizadas duas sondas para avaliar a temperatura e o teor de água do solo, expressas em °C e kg kg⁻¹, respectivamente.

- carbono orgânico total (COT): para avaliar a concentração de COT do solo em função do manejo, foram coletadas amostras de solo na fileira e entre-fileira da cultura do milho na profundidade de 0,10-0,40 m, fracionadas em 4 partes iguais, ou seja, quatro profundidades, sendo analisado pelo método proposto por Heanes (1984), que consiste do uso do dicromato de potássio, ácido sulfúrico e sacarose como reagentes e calibradores. A coleta do solo para esta análise foi realizada 30 dias após o preparo localizado do solo.

O espectrofotômetro utilizado para leituras de carbono orgânico total do solo foi o Cary 50 Bio, UV-Visible - Varian.

Análise estatística

Os dados foram analisados pelos programas estatísticos Sisvar (Ferreira, 2011) e Assistat (Silva e Azevedo, 2006), resultando em análises de variância e, quando significativos, aplicou-se o teste de Tukey à 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Para a análise gráfica foi utilizado o programa Origin 6.0 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA).

Resultados e Discussão

Resistência mecânica do solo à penetração

O teor de água do solo no momento da operação de preparo do solo e da avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) é apresentada na Figura 2.

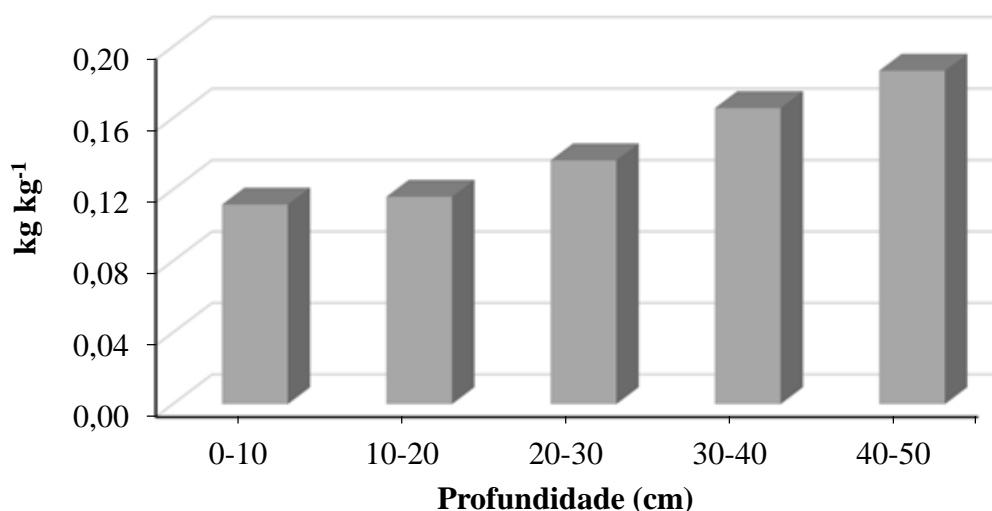


Fig 2. Teor de água do solo durante a operação de preparo localizado e no momento da aquisição dos dados de resistência mecânica do solo à penetração.

São apresentados na Figura 3 os resultados da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em solo mobilizado e não-mobilizado pela haste subsoladora nas respectivas profundidades de preparo. A RMSP diminuiu expressivamente após a passagem da haste sulcadora, principalmente quando foi utilizada a profundidade de preparo de 38 cm. Isso se explica pelo rompimento profundo da camada de solo compactada, em que a passagem da haste subsoladora foi de 15 cm abaixo desta camada de impedimento.

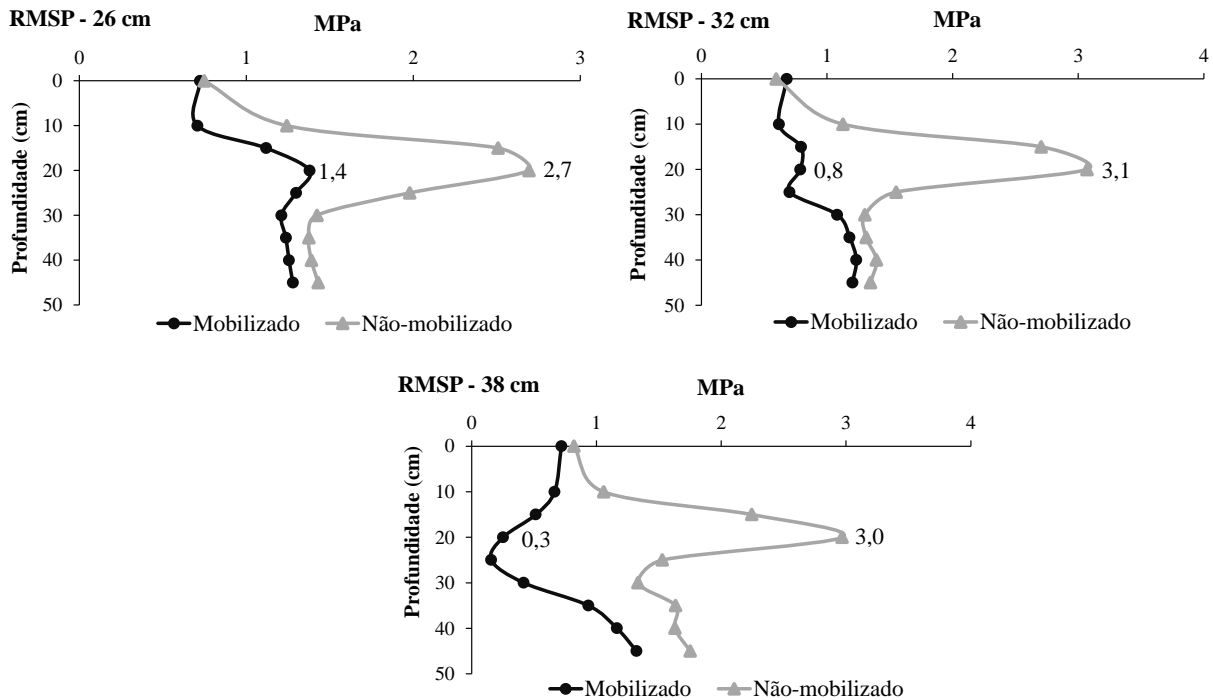


Fig 3. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em solo mobilizado e não-mobilizado pela haste subsoladora em três profundidades de preparo (26, 32 e 38 m).

É possível observar a camada compactada de solo na profundidade de 15-25 cm (Figura 3). Isso se deve ao fato de que o solo desta área experimental (franco-arenoso Dothan) apresenta uma transição de textura (de arenoso para argiloso) no horizonte do citado, surgindo assim uma camada de impedimento.

Cobertura vegetal

A cobertura vegetal, resultado da dessecação da aveia antes da implantação da cultura do milho, apresentou média de 86% de resíduos vegetais na superfície do solo (Figura 4).

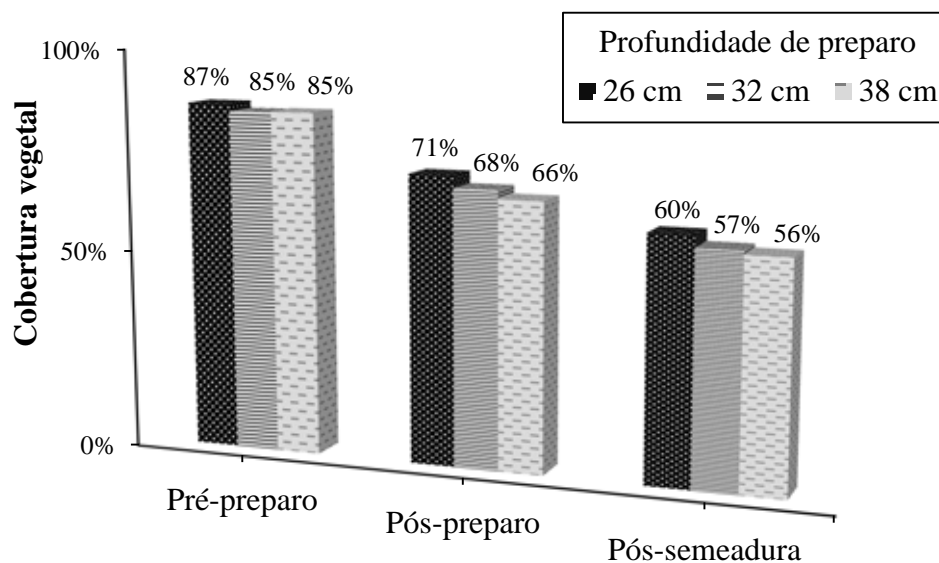


Fig 4. Cobertura vegetal dos restos culturais da cultura da aveia antes e depois das operações mecanizadas para a implantação da cultura do milho sob três profundidade de preparo do solo.

Após o preparo do solo, a incorporação desses resíduos foi de 16%, 17% e 19% para as profundidades de preparo de 26, 32 e 38 cm, respectivamente. Após a semeadura (12 dias depois do preparo do solo), houve incorporação e decomposição de material vegetal da superfície do solo, sendo esta de 10%.

Bertol et al. (1998) avaliando a persistência dos resíduos culturais de aveia sobre a superfície do solo em SPD, relataram que nos dois campos experimentais foi constatado que a taxa de decomposição dos resíduos culturais de aveia foi, 100% maior nos primeiros 45 dias do que no restante do período experimental. Isso mostra que 12 dias após o preparo do solo localizado, sendo este considerado como preparo conservacionista, a cultura da aveia se decompôs lentamente, uma vez que a semeadora utilizou apenas discos duplos para deposição das sementes e discos em “V” para fechamento do sulco.

Desenvolvimento do milho

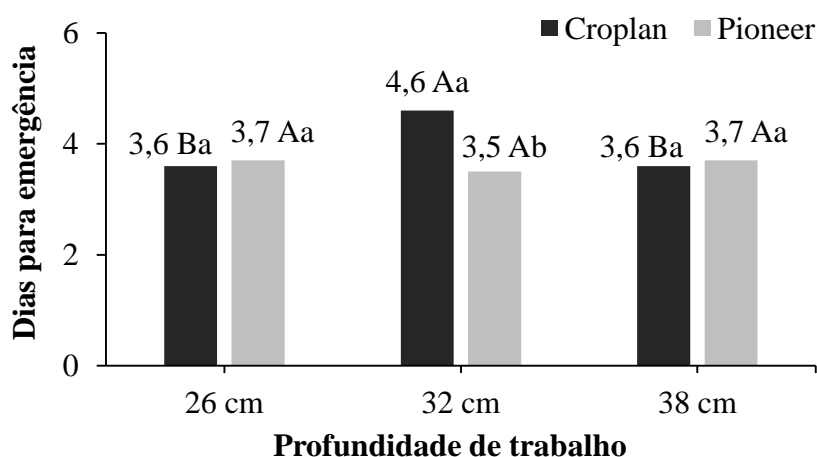
A cultivar Croplan foi melhor quanto ao estande inicial da cultura do milho, com 1700 plantas ha⁻¹ a mais que a cultivar Pioneer (Tabela 1). Porém, no estande final de plantas, observa-se que houve uma estabilização entre as cultivares, não havendo diferença estatística.

Tabela 1. Análise de variância para número médio de dias para emergência (NMDE) e estande inicial e final da cultura do milho.

Cultivar (C)	NMDE dias	Estande inicial e final	
		----- plantas ha ⁻¹ -----	
Croplan	4,0	55.015 a	53.935
Pioneer	3,6	53.318 b	52.855
Profundidade (P)			
26 cm	3,7	54.282	53.356
32 cm	4,1	53.819	52.778
38 cm	3,7	54.398	54.051
Teste F			
C	2,34 ^{ns}	4,43 [*]	2,04 ^{ns}
P	1,72 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CxP	3,68 [*]	0,00 ^{ns}	0,20 ^{ns}
CV (%)	13,7	3,6	3,5

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01). *significativo (P<0,05); ns: não significativo.

O número médio de dias para a emergência do milho (NMDE) foi de 3,8 dias (Tabela 2), apresentando interação entre os tratamentos (Figura 5). A cultivar Croplan apresentou maior tempo para estabilização das plantas quando utilizou-se a profundidade de preparo de 32 cm. Fato este ocorrido por motivos inerentes a cultura (ambiente), pois de acordo com a Figura 1, a haste sulcadora mobilizou o solo abaixo da camada compactada, ou seja, baixos valores para a RMSF.



Letras maiúsculas para profundidade de preparo dentro de cada cultivar. Letras minúsculas para cultivares dentro de cada profundidade de preparo.

Fig 5. Interação entre cultivares de milho (Croplan e Pioneer) e profundidade de preparo localizado do solo para o número médio de dias para emergência do milho.

A cultivar Croplan apresentou melhor produtividade de grãos, sem diferença para biomassa de plantas, fato este ligado as características de cada cultivar, pois não houve diferença para as profundidades de preparo (Tabela 2).

Observa-se que na profundidade de preparo de 38 cm, as plantas apresentaram maior desenvolvimento e, com a haste trabalhando a 26 cm de profundidade, as espigas apresentaram-se em menor altura de inserção. Isso ocorre em função da profundidade menor de preparo do solo, pois houve menor mobilização do solo (Tabela 3), conseqüentemente, menor área para o desenvolvimento das raízes, podendo essas interferirem no desenvolvimento das plantas.

Tabela 2. Análise de variância para produtividade de grãos, biomassa, altura das plantas e de inserção da espiga da cultura do milho.

Cultivar (C)	Produtividade	Biomassa	Altura das plantas	Altura de espiga
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- m -----	
Croplan	12.267 a	6496	2.1 b	0.9 b
Pioneer	11.195 b	6531	2.6 a	1.1 a
Profundidade (P)				
26 cm	11.657	6441	2.3 b	0.9 b
32 cm	11.845	6383	2.4 ab	1.0 a
38 cm	11.690	6717	2.4 a	1.0 a
F test				
C	8.18 *	0.01 ns	443.7 **	321.0 **
P	0.10 ns	0.55 ns	5.90 **	13.71 **
CxP	0.25 ns	0.82 ns	0.68 ns	0.03 ns
CV (%)	7.8	10.4	2.5	2.4

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01). *significativo (P<0,05); ns: não significativo.

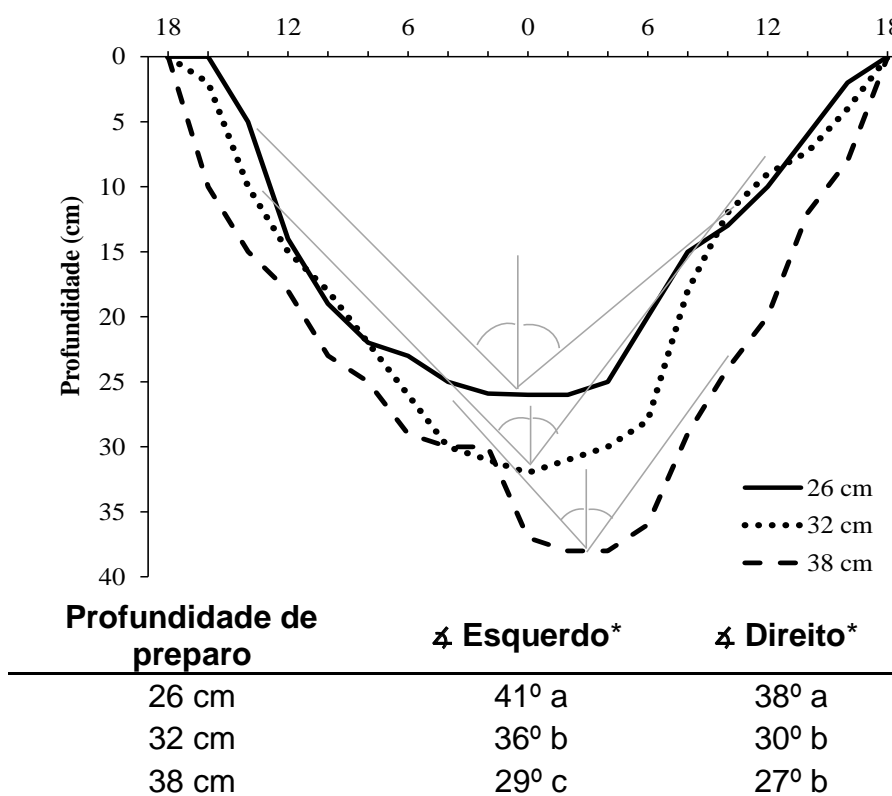
Mobilização do solo

A mobilização de solo apresentou aumento de acordo com o aprofundamento das hastes (Tabela 3). Não houve diferença para a variável largura do sulco, fato este interessante, pois conforme se aprofunda a haste no solo, menor é o ângulo de abertura do sulco (Figura 6). De acordo com o perfil do sulco, constata-se que houve mobilização em maior profundidade, mesmo o ângulo do sulco sendo menor, significando que é possível trabalhar com este tipo de haste sulcadora em profundidades de 38 cm.

Tabela 3. Análise de variância para mobilização do solo, largura e profundidade do sulco após a passagem da haste sulcadora.

Cultivar (C)	Mobilização cm ²	Largura cm	Profundidade cm
Croplan	786,0	34,9	32,7
Pioneer	853,8	36,3	32,7
Profundidade (P)			
26 cm	661,2 c	35,2	27,0 c
32 cm	783,8 b	35,5	32,6 b
38 cm	1014,8 a	36,1	38,6 a
Teste F			
C	2,46 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}
P	22,99 ^{**}	0,17 ^{ns}	275,96 ^{**}
CxP	0,43 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,61 ^{ns}
CV (%)	12,9	9,5	2,9

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05); *Teste significativo (P<0,01) com valor F de 11,8 para o ∠ direito e 22,7 para o ∠ esquerdo do sulco, e coeficiente de variação de 13,9% e 10,9%, respectivamente.

Fig 6. Perfil e ângulo de abertura do sulco em função da profundidade de preparo localizado do solo.

A profundidade de preparo efetiva se apresentou próxima da teórica, mesmo com o equipamento sendo acoplado no sistema hidráulico de três pontos do trator, assim, não havendo desestabilização na operação de abertura do sulco.

Mobilização do carbono no solo

Os teores médios de carbono orgânico total (COT) apresentaram valores mais elevados na camada de 0-10 cm, tanto para condição do solo, quanto para profundidade de preparo do solo (Tabela 4). Isto ocorre devido a cultura de cobertura (aveia) não ter sido incorporada, em que apenas o ambiente influencia na estabilização do estoque de carbono nesta camada. Al-Kaisi e Yin (2005) constataram aumento significativo de COT na camada 0,0-0,10 m no preparo localizado do solo em comparação com preparo do solo por escarificação.

Bayer et al. (2004) constataram que os maiores aumentos no estoque de COT ocorreram nas camadas superficiais do solo, variando de 39% a 53% na camada de 0-2,5 cm no solo sob SPD com culturas outonais e estivais anualmente, em comparação a mesma camada de solo em preparo do solo convencional.

Reicosky et al. (1995) salientam que, mesmo nos casos em que não há aumento de matéria orgânica na camada arável do solo em SPD, o acúmulo de resíduos culturais sobre o solo e de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo resultam em efeitos importantes em relação à ciclagem de nutrientes, agregação, atividade microbiana, movimento e armazenamento de água, e troca de gases com a atmosfera. Assim, é possível afirmar que o sistema de preparo localizado é um sistema de preparo conservacionista do solo, pois mantém boa parte dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo, mantendo também toda sua estrutura, preservando então o ambiente em seu estado natural.

Tabela 4. Análise de variância para o carbono orgânico total do solo em função da profundidade de preparo localizado e condição do solo.

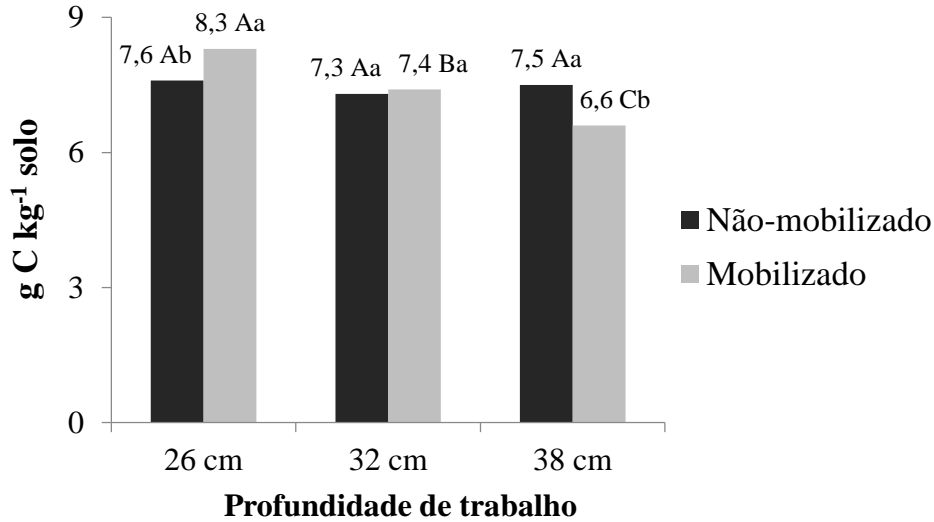
Condição do solo (C)	C orgânico total (g kg ⁻¹)			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Mobilizado	7,4	6,8	5,7	4,3
Não mobilizado	7,4	6,9	6,3	4,3
Profundidade (P)				
26 cm	7,9	7,1	5,9	4,0
32 cm	7,4	6,8	5,8	4,2
38 cm	7,0	6,7	6,4	4,6
Média	7,4	6,8	6,0	4,3
Teste F				
C	0,00 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,75 ^{ns}
P	7,03 ^{**}	0,00 ^{ns}	2,76 ^{ns}	0,00 ^{ns}
CxP	5,41 ^{**}	0,43 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,14 ^{ns}
CV (%)	9,6	13,6	20,2	30,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; C.V.: coeficiente de variação (%). **significativo (P<0,01). *significativo (P<0,05); ns: não significativo.

Houve interação entre os tratamentos para o carbono orgânico total (COT) do solo para a camada 0-10 cm (Figura 7). Observa-se que na fileira de semeadura o teor de COT foi decrescendo conforme se aprofundou a haste no solo, ou seja, ocorre um aumento na velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo que, devido a maior área de solo mobilizado e mais exposto ao calor, ocorre a diminuição dos teores de COT. Isso representa 10% de perda de carbono a cada 6 cm de profundidade de preparo, ou seja, conforme se aprofunda a haste no solo, menor é a qualidade da estrutura do solo. Observa-se também que quando a haste trabalhou a 26 cm de profundidade, houve maior teor de COT na fileira de semeadura do que em solo não-mobilizado. A haste sulcadora tem a ação de elevar o solo da subsuperfície para a superfície e o solo da parede do sulco tende a cair dentro do mesmo, assim, todo material que estava na superfície não mobilizada é transportado para o sulco, porém, com o tempo o teor de COT se perde por estar exposto, recebendo rápida degradação pelo calor.

Bertol et al. (2004), estudando as propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, verificaram que o teor de carbono orgânico foi 27% maior na área de plantio direto e 54% maior no campo nativo em comparação a área de preparo convencional, para a

profundidade de 0-10 cm. Os autores relatam também que, na profundidade de 0,0-2,5 cm, essas diferenças foram ainda maiores, sendo 56 e 77%, respectivamente, para plantio direto e campo nativo em comparação ao preparo convencional do solo.



Letra maiúscula para condição do solo em diferentes profundidades de preparo. Letra minúscula para profundidade de preparo dentro de cada condição de solo.

Fig 7. Interação entre profundidade de preparo localizado e condições do solo para carbono orgânico total na camada 0-10 cm.

Nota-se que para o teor de água do solo houve precipitação, com chuvas entre os 5 e 10DAP, apresentando também as temperaturas mais elevadas de todo o ciclo de implantação da cultura do milho (Figura 8). Observa-se também que em momentos de déficit hídrico (60DAP), o solo não-mobilizado reteve mais água que o solo mobilizado e, em situações de temperatura elevada, o solo mobilizado apresentou pequeno aumento em relação ao não-mobilizado.

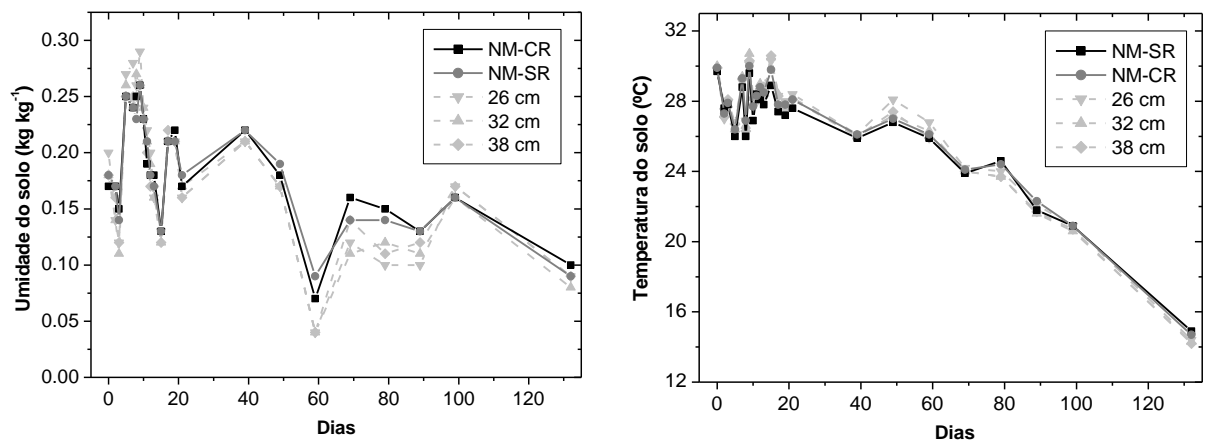
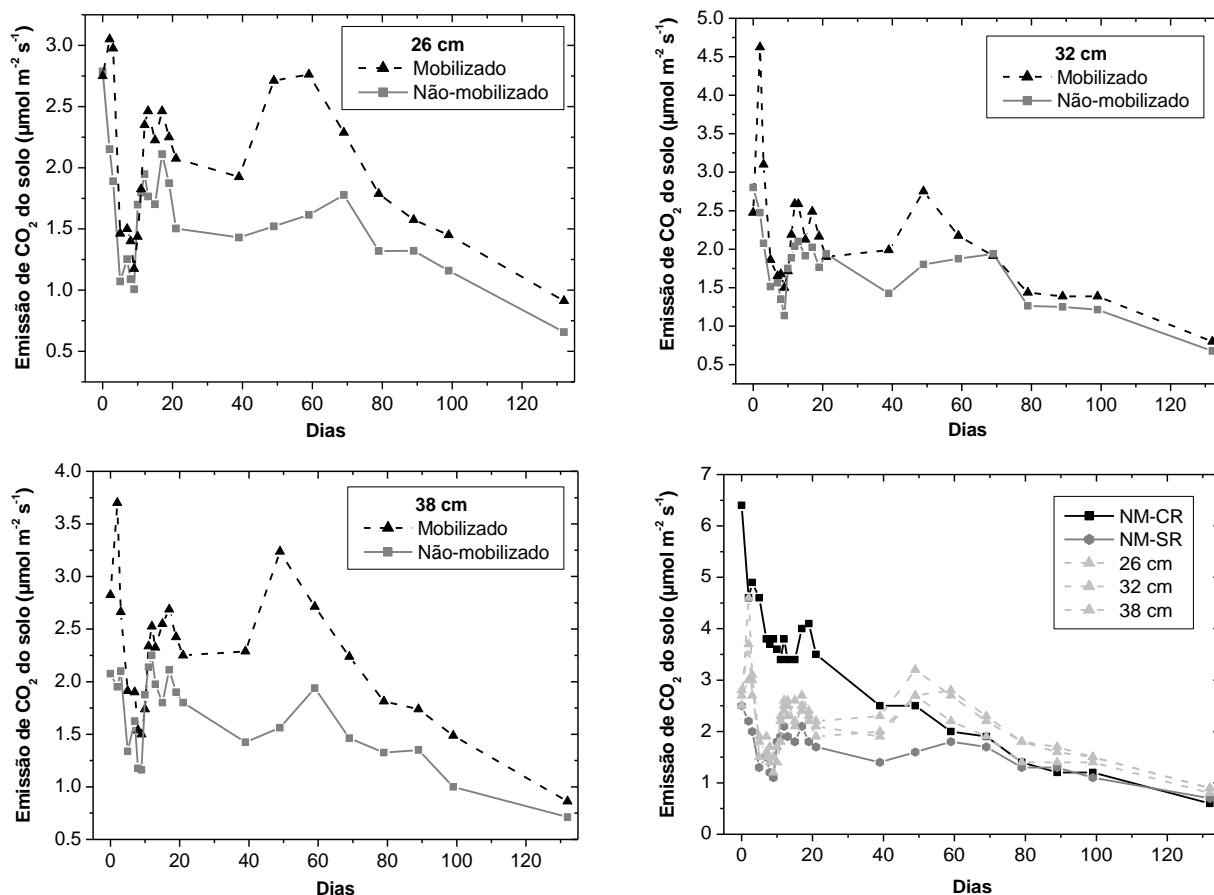


Fig 8. Teor de água e temperatura do solo durante coleta de dados de emissão de CO₂.

Na Figura 9 são apresentados os resultados da análise temporal das emissões de CO₂ do solo em função da profundidade de preparo localizado do solo e das condições do mesmo. As emissões iniciais de gases de CO₂ após o preparo localizado do solo foram 41, 86 e 91% para as profundidades de preparo de 26, 32 e 38 cm, respectivamente, 1 dia após o preparo localizado do solo (DAP).



NM-CR: solo não-mobilizado com resíduos vegetais; NM-SR: solo não-mobilizado sem resíduos vegetais.

Fig 9. Análise temporal da emissão de CO₂ em função da profundidade de preparo localizado (26, 32 e 38 cm) e resíduo vegetal sobre o solo.

Para os 2DAP houve um fato interessante entre as profundidades de preparo do solo, em que as emissões apresentaram resultados de 57, 48 e 27% na ordem de menor para maior profundidade de preparo do solo. Este fato ocorre devido os gases de CO₂ terem sido emitidos mais rapidamente na maior profundidade de preparo do solo, por causa da maior mobilização causa pela haste subsoladora nesta profundidade.

Houve diminuição das emissões de gases CO₂ do 5DAS ao 10DAP, devido ao período de chuvas ocorrido entre esses dias.

No período dos 45DAP constata-se um retorno significativo das emissões de gases. De acordo com a Figura 8, nota-se que nesse período houve déficit hídrico e leve aumento na temperatura do solo, acarretando em 78, 52 e 105% a mais nas emissões de CO₂ para as profundidades de 26, 32 e 38 cm, respectivamente.

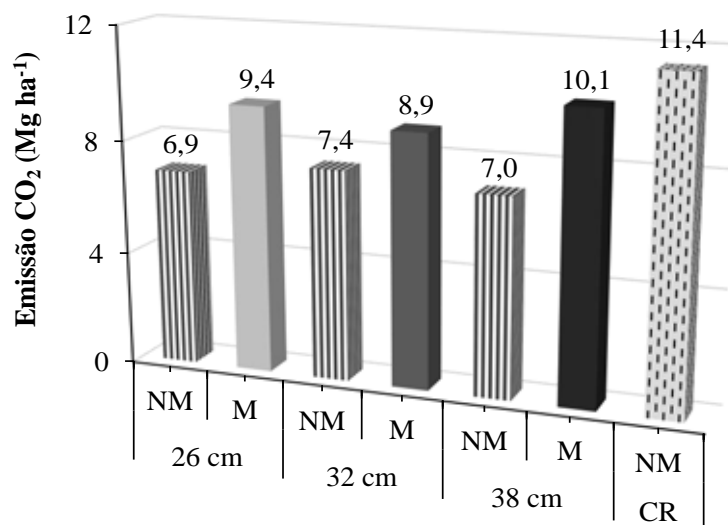
As emissões de CO₂ diminuíram após os 50DAP em função da queda de temperatura do solo (Figura 8).

Na área de solo mobilizado em função das profundidades de preparo localizado as emissões são superiores área de referência (solo não-mobilizado), com exceção para a profundidade de preparo de 32 cm, pois houve estabilização das emissões a partir dos 65 DAS até o final do ciclo da cultura do milho.

Outro fato muito interessante é a emissão de gases em área de solo não-mobilizado coberta por resíduos de palha de aveia. Comparando-se esta condição com solo sem cobertura vegetal, constata-se que a palhada de aveia sobre o solo emite significativamente mais CO₂ para a atmosfera do que em solo nu, apresentando valores 244% maiores nos 9DAS devido a temperatura do solo apresentar-se alta (30°C). Mesmo com o solo úmido nos primeiros DAS em virtude das chuvas, as emissões em áreas com palha sobre a superfície do solo foram maiores que as demais condições do solo.

É importante ressaltar que após os 50DAP houve estabilização nas emissões de CO₂, possivelmente pela degradação total da palhada de aveia que estava sobre a superfície do solo.

Na emissão total de CO₂ do solo (Figura 10) observa-se que a área de solo mobilizado pela haste subsoladora emitiu mais gases do que em área de solo não-mobilizado, apresentando valores 36%, 20 e 44% a mais nas emissões totais para as profundidades de preparo localizado de 26, 32 e 38 cm, respectivamente.



NM: solo não-mobilizado, M: solo mobilizado, ambos sem resíduo na superfície; CR: superfície do solo com resíduo vegetal.

Fig 10. Emissão total de CO₂ do solo em função da profundidade de preparo localizado (26, 32 e 38 cm) e condições do solo.

Constata-se ainda que em solo não-mobilizado com resíduos da cultura de cobertura (aveia) sobre o solo, as emissões totais de CO₂ foram 13% maiores comparado ao solo mobilizado na profundidade de preparo de 38 cm, e 60% maiores, comparado com a área de solo não-mobilizado e sem resíduo em sua superfície.

Desempenho operacional do trator

Não houve diferença para as variáveis de desempenho do trator (Tabela 5). Isso mostra que mesmo utilizando a maior profundidade de preparo localizado do solo, o consumo de combustível não se altera, tampouco a patinação dos rodados do trator.

Tabela 5. Análise de variância para consumo horário de combustível, consumo de combustível por volume de solo mobilizado (Cmob) e patinagem dos rodados dianteiros e traseiros do trator.

Profundidade	Consumo	Cmob	Patinagem (%)	
	L h ⁻¹	ml cm ⁻³	Dianteira	Traseira
26 cm	7,5	10,2	13,7	6,5
32 cm	6,7	7,3	14,2	6,5
38 cm	7,2	7,2	14,9	6,8
F test	0,41 ^{ns}	2,04 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}
CV (%)	11,3	16,6	7,9	16,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; CV: coeficiente de variação (%); ns: não significativo.

Conforme Asae (2003), a patinagem dos rodados em solo firme apresenta melhor desempenho entre 8-10% e, fora desta recomendação, pode acarretar em perda de potência do trator. Assim, a patinagem do trator em operação de preparo localizado em um solo franco-arenoso Dothan está acima do recomendado para as rodas traseiras e abaixo para as dianteiras, devendo o trator estar com mais lastros na dianteira do que na traseira para que sua massa sobre o solo consiga inibir a patinagem incorreta durante a operação de preparo do solo.

Conclusões

1. Quanto maior a profundidade de preparo localizado do solo, maior é a área de solo mobilizado e menor é o ângulo do sulco.
2. O solo não-mobilizado com resíduos da cultura de cobertura sobre a superfície apresentou os maiores valores de emissão total de CO₂, sendo superior às áreas de solo mobilizado sem resíduos.
3. Aos 50DAP houve estabilização das emissões de gases CO₂ em áreas de solo não-mobilizado que apresentavam resíduos de cultura de cobertura.
4. A cultivar Pioneer se estabilizou no início do ciclo mais rapidamente que a cultivar Croplan na profundidade de preparo localizado de 32 cm, porém apresentou menor estande inicial e menor produtividade de grãos de milho.
5. Mesmo utilizando a maior profundidade de preparo localizado do solo, o consumo de combustível não se alterou, tampouco a patinagem dos rodados do trator e, em geral, recomenda-se a profundidade de trabalho de 26 cm.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes (Projeto nº 8618-12-7) pela concessão da bolsa de estudo e à Universidade da Flórida pela área experimental e equipamentos.

Referências

- Al-Kaisi MM, Yin X (2005) Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotation. **Journal of Environmental Quality** 34:437-445.
- Akbarnia A, Alimardani R, Baharloeyan Sh (2010) Performance comparison of three tillage systems in wheat farms. **Australian Journal of Crop Science** 4(8):586-589.
- Allmaras RR, Schomberg HH, Douglas Jr CL, Dao TH (2000) Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. Croplands. **Journal of Soil and Water Conservation** 55(3):365-373.
- Altikat S, Celik A, Gozubuyuk Z (2013) Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch. **Soil & Tillage Research** 126:72-77.
- Asae (2003) Agricultural Machinery Management. Asae standards 2003, EP496.2, Saint Joseph. 366-372.
- Baker JM, Ochsner TE, Venterea RT, Griffis TJ (2007) Tillage and soil carbon sequestration - What do we really know? **Agriculture, Ecosystems and Environment** 118:1-5.
- Bayer C, Mielniczuk J, Martin-Neto L (2000) Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 24: 599-607.
- Bayer C, Martin-Neto L, Mielniczuk J, Pavinato A (2004) Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 39(7):677-683.
- Bertol I, Ciprandi O, Kurtz C, Baptista A. S (1998) Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 22:705-712.

- Bertol I, Albuquerque JA, Leite D, Amaral AJ, Zoldan Junior, WA (2004) Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas ao campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 28:155-163.
- Celik A, Altikat S, Way TR (2013) Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. **Soil & Tillage Research** 131:20-27.
- Curtin D, Wang H, Selles F, McConkey BG, Campbell CA 2000. Tillage effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations, **Soil Science Society of America Journal** 64:2080-2086.
- Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** 35:1039-1042.
- Furlani CEA, Canova R, Cavichioli FA, Bertonha RS, Silva RP (2013) Energy demand of a planter as a function of the furrow opener in corn sowing. **Revista Ceres** 60:885-889.
- Germino R, Benez SH (2006) Comparative assay of two models of furrow opener drills for planters in no-tillage system. **Energia na Agricultura** 21:85-92.
- Godwin RJ (2007) A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil & Tillage Research** 97:331-340.
- Hartwig RO, Laflen JM (1978) A meterstick method for measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation** 33(2):90-91
- Heanes DL (1984) Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 15(10), 1191-1213.
- Kern JS, Johnson MG (1993) Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels, **Soil Science Society of America Journal** 57:200-210.
- Laflen JM, Amemiya M, Hintz, EA (1981) Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation** 36(6):341-343.
- Lal R, Kimble JM (1997) Conservation tillage for carbon sequestration. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 49:243-253.
- Luna J, Staben M (2003). Using Strip Tillage in Vegetable Production Systems in Western Oregon. Oregon State University Extension Service, EM 8824. 12p.

- Maziero JVG, Corrêa IM, Yanai K, Menezes, JF (1992) Equipamento para medição do consumo de combustível em experimentos agrícolas. **Bragantia** 51(2):197-20.
- Morrison JE (2002) Strip tillage for no-till row crop production. **Applied Engineering in Agriculture** 18(3):277-284.
- NRCS (2008) Tillage practice guide: A guide to USDA-NRCS practice standards 329 no-till/strip till/direct seed & 345 mulch till. USA, Natural Resource Conservation Service, United States Department of Agriculture, 1p.
- Pacala S, Socolow R (2004) Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. **Science** 305:968-972.
- Raper RL, Washington BH, Jarrell JD (1999) A tractor-mounted multiple-probe soil cone penetrometer. **Applied Engineering in Agriculture** 15(4):287-290.
- Reicosky DC (2001) Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. In Garcia-Torres L, Benites J, Martinez-Vilela A (eds) **Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge**. Cordoba, Spain, XUL, pp 3-12.
- Reicosky DC, Kemper WD, Langdale GW, Douglas CL Rasmunssen PE (1995) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil and Water Conservation** 50:253-261.
- Ruggiero MAG, Lopes VLR (1996) Cálculo numérico - aspectos teóricos e computacionais. 2nd edn. São Paulo, Makron Books, pp 406.
- Silva FAS, Azevedo CAV (2006) A New Version of the Assistat-Statistical Assistance Software. **Anais...** 4th World Congress on Computers in Agriculture. Orlando, 393-396. 2006
- Sperow M, Eve M, Paustian K (2003) Potential soil C sequestration on U.S. agricultural soils. **Climatic Change** 57:319-339.
- Smith P (2004) Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. **European Journal of Agronomy** 20(3):229-236.
- Streck NA (2005) Climate change and agroecosistemas: The effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural** 35:730-740.

- Troger HCH, Reis AV, Machado ALT, Machado RLT (2012) Analyzing the efforts in furrow openers used in low power planters. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering** 32:1133-1143.
- Urquiaga S, Boddey RM, Neves MCP (1999) A necessidade de uma revolução mais verde. In: Siqueira JO, Moreira FMS, Lopes AS, Guilherme LRG, Faquini V, Furtini Neto AE, Carvalho JG. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo pp 175-181.
- Vieira RD, Carvalho NM (1994) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: Funep, pp. 164.
- Yanai K, Silveira GM, Lanças KP, Corrêa IM, Maziero JVG (1999) Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 34(8):1427-1434.

CAPÍTULO 5 - Considerações finais

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, considerou-se que:

A haste sulcadora para sistema plantio direto é uma importante ferramenta para o desenvolvimento da cultura do milho, devido à ação de descompactação e mobilização da fileira de semeadura. Por tanto, surgem outros desafios no momento da implantação na lavoura, que são a geometria da haste, o teor de água do solo e a profundidade de trabalho.

A geometria da haste sulcadora interfere no desempenho do trator, visto que o ângulo de ataque, quando menor, proporciona baixa demanda de potência da máquina, conseqüentemente, menor consumo de combustível.

Na teoria diz-se que, quanto maior a profundidade de trabalho, maior a quantidade de solo mobilizado e produtividade de grãos. Porém, na prática, quando se aprofundaram as hastes sulcadoras no solo em sistema plantio direto, não houve aumento significativo da área mobilizada. Assim, P4 e P5 foram consideradas como profundidades críticas de trabalho em Latossolo Vermelho eutrófico com 8 anos de sistema plantio direto.

A profundidade crítica de trabalho causou espelhamento no sulco, ou seja, o solo das paredes do sulco ficou firme, impossibilitando a penetração lateral das raízes e, no fundo do sulco (máxima profundidade) as hastes também compactaram o solo. A única saída para as raízes foi a de obter água e nutriente próximo das plantas vizinhas.

O teor de água do solo foi outro fator muito importante no momento da semeadura de grãos. Neste trabalho foi possível observar que em teor de água maior (TAS3), houve maior mobilização do solo e menor consumo de combustível do trator, em comparação com os demais teores de água estudados, trabalhando com haste sulcadora em profundidade P1.

No sistema de preparo localizado do solo, apesar da necessidade de duas operações (preparo do solo e semeadura), constatou-se ser um importante sistema de preparo conservacionista, pois além de manter os resíduos vegetais na superfície (cobertura vegetal), manteve grande parte do solo estruturada.

Já é sabido que a emissão de gases do efeito estufa em áreas agrícolas tem aumentado em virtude de queimadas e aumento do preparo do solo. Assim, a

profundidade de trabalho em sistema de preparo localizado do solo é um elemento que pode ajudar a mitigar estes efeitos prejudiciais.

Apesar de que, quanto maior a profundidade de trabalho, maior foi a mobilização do solo, neste sistema de preparo a profundidade de 26 cm apresentou melhores resultados, pois não houve diferença na produtividade quando comparada as demais profundidades utilizadas, mas quando se aprofundou as hastes subsoladoras para 32 e 38 cm, houve aumento nas emissões de CO₂.

Outro fato interessante é que a cultura da aveia, que foi utilizada como cobertura vegetal, emitiu mais gases CO₂ em solo não mobilizado (entre-fileira), comparado à profundidade de trabalho de 38 cm. Entretanto, a partir dos 40-50 dias após o preparo localizado do solo, a área não mobilizada, com resíduos de aveia na superfície, deixou de emitir gases CO₂, em função da deterioração dos resíduos.

Por fim, antes de implantar qualquer cultura de grãos, recomenda-se o estudo do solo a ser manejado e a utilização de ferramentas específicas para cada condição de abertura do sulco de semeadura, pois, de acordo com a geometria da haste, é possível mobilizar o solo em proporções diferentes, relacionando esta ação à textura e condição do solo.