



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FERNANDO ANTÔNIO MELO DA COSTA

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E DE
VELOCIDADE DE SEMEADURA EM ATRIBUTOS DA
RELAÇÃO MÁQUINA-SOLO-PLANTA**

**JUAZEIRO – BA
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FERNANDO ANTÔNIO MELO DA COSTA

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E DE
VELOCIDADE DE SEMEADURA EM ATRIBUTOS DA
RELAÇÃO MÁQUINA-SOLO-PLANTA**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro - BA, como requisito da obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof^o. DSc. Jorge Wilson Cortez.

**JUAZEIRO – BA
2014**

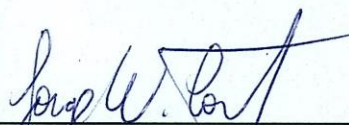
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

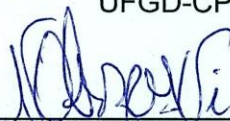
FERNANDO ANTÔNIO MELO DA COSTA

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E DE
VELOCIDADES DE SEMEADURA EM ATRIBUTOS DA
RELAÇÃO MÁQUINA-SOLO-PLANTA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Jorge Wilson Cortez, Prof. D.Sc.
UFGD-CPGEA



Nélcil Olszewski, Prof^a. D.Sc.
UNIVASF-CPGEA



José Bismark de Medeiros, Prof. D.Sc.
UNIVASF-CPGEA

Juazeiro-BA, 17 de Fevereiro de 2014.

C837i Costa, Fernando. A. M.
Influência de sistemas de preparo do solo e de velocidade de
semeadura em atributos da relação máquina-solo-planta / Fernando
Antônio Melo da Costa. – Juazeiro-BA, 2014.
60f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade
Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2014.

Orientador (a): Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez.

1. Máquinas agrícolas. 2. Solo. 3. Tratores. I. Título. II. Cortez, Jorge
Wilson. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.3

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me proporcionado tantos momentos bons durante o meu aprendizado de vida;

Aos meus pais, Benjamin de Assis da Costa e Maria das Neves Melo da Costa (*In memoriam*) por todo apoio, amor, dedicação e ensinamentos propostos durante todo o meu aprendizado de vida;

A Pâmela Bento Cipriano por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, me apoiando nas decisões;

Ao meu orientador, Professor D. Sc. Jorge Wilson Cortez, pela orientação durante toda a minha formação como mestre e pela parceria na montagem do experimento, por estar sempre disposto ensinar, e pela ajuda na correção da redação da dissertação;

Aos meus irmãos Rafael Melo da Costa e a Diogo Melo da Costa que sempre estiveram me apoiando e me motivando na minha caminhada, e pelos momentos de distração que passamos juntos;

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por proporcionarem um crescimento profissional proporcionado pelos mesmos;

A todos os funcionários do programa de Pós-Graduação em engenharia agrícola pela logística durante todo curso;

Aos colegas da Pós-Graduação que se tornaram amigos durante a caminha, em especial aos colegas José Alberto Ferreira Cardoso, Renato Lima Ramos, Hideo de Jesus Nagahama e aos futuros engenheiros agrônomos Elder Barboza de Souza, Antônio Pereira Patrocínio Filho, Wisy Alves Pimenta, Alan da Cunha Honorato pela grande ajuda na condução do experimento;

A Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado do Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa;

As pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente para que o trabalho pudesse ser realizado com sucesso;

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

COSTA, F. A. M. DA. **Influência de sistemas de preparo do solo e de velocidade de semeadura em atributos da relação máquina-solo-planta.** 2014. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito ocasionado por sistemas de preparo periódico do solo e pelas velocidades de semeadura sobre atributos da relação máquina-solo-planta, afetando o desenvolvimento de plantas de milho no semiárido nordestino. O experimento foi conduzido no *Campus* de Ciências Agrárias – UNIVASF, Petrolina (PE), utilizando um delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e 4 repetições (blocos); foram realizados quatro sistemas de preparo de solo aplicados nas parcelas – arado de aivecas, grade off-set (22”), grade off-set (24”) e escarificador, com posterior semeadura de milho, em que aplicou-se três velocidades nas subparcelas. Foi avaliado para a máquina: velocidade teórica e efetiva, largura e profundidade de trabalho e capacidades de campo; no solo: densidade, porosidade e resistência mecânica do solo à penetração (RP) e, na planta - estande de plantas, distribuição longitudinal, altura de planta, diâmetro de colmo, altura de inserção da primeira espiga, número de espigas por planta, massa de 100 grãos e produtividade. Os dados foram analisados por meio da análise de variância e teste de Tukey com comparação de médias e pela geoestatística. Os sistemas de preparos empregados não diferiram estatisticamente para a densidade e porosidade total, entretanto imprimiu variação significativa para a grade off-set com discos de 0,56 m de diâmetro com relação ao índice de permanência vegetal no solo. Os resultados mostraram que a densidade e a porosidade não foram influenciadas pelos sistemas de preparo, no entanto arado de aivecas apresentou a menor resistência à penetração nas camadas do solo. As grades G24 e G22 apresentaram as maiores capacidades de campo e um rendimento de campo teórico médio para os preparo de 63%. O milho apresentou maior produtividade para a velocidade de 8,70 km h⁻¹.

Palavras-chaves: mecanização agrícola, desempenho de máquinas, produtividade.

COSTA, F. A. M. DA. **Influence of tillage systems and seeding rate on attributes of the relationship machine - soil-plant.** 2014. 61f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering), Federal University of São Francisco Valley, UNIVASF, Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect caused by periodic soil tillage systems and seeding velocity by about attributes of the relationship machine - soil-plant, affecting the development of corn plants in semi-arid northeast. The experiment was conducted at the Campus Agricultural Sciences - UNIVASF, Petrolina (PE) using a randomized complete block design with split plots and four replications (blocks), four tillage systems applied were made in installments - moldboard plow, harrow disc offset (22"), harrow disc offset (24") and chisel plow were sown corn wherein applied three speeds subplots. Been reported for the camera: theoretical and actual speed, width and depth of field work and capabilities; soil bulk density, porosity and soil resistance to penetration (RP) and the plant - plant stand, longitudinal distribution, height plant height, stem diameter, height, first ear, number of ears per plant, weight of 100 grains and productivity. Data were analyzed by analysis of variance and Tukey's test comparison of means, and geostatistics. The systems employed preparations did not differ statistically for the density and total porosity, however significant variation printed for off-set grille with discs of 0,56 m in diameter with respect to the index of plant in soil. The results showed that the density and porosity were not influenced by tillage systems, however moldboard plow had the lowest penetration resistance in soil layers. The G24 and G22 harrow showed the highest capacity and field yield average theoretical field for the preparation of 63 %. The corn had higher productivity for speed of 8.70 km h⁻¹.

Keywords: agricultural mechanization, machine performance, productivity.

LISTA DE FIGURAS

| | Páginas |
|--|----------------|
| Figura 1. Arado de aivecas..... | 16 |
| Figura 2. Grade leve off-set de 16 discos..... | 16 |
| Figura 3. Grade leve off-set de 14 discos..... | 17 |
| Figura 4. Escarificador de três hastes. | 17 |
| Figura 5. Grade leve em Tandem..... | 18 |
| Figura 6. Semeadora adubadora de 04 linhas. | 18 |
| Figura 7. Croqui de montagem do experimento, considerando um bloco. | 20 |
| Figura 8. Delineamento experimental..... | 20 |
| Figura 9. Esquema para determinação da porcentagem de cobertura do solo. | 21 |
| Figura 10. Esquema para coleta de dados pontual e de perfil. | 24 |
| Figura 11. Mapas de isolinhas para resistência mecânica à penetração do solo (MPa) para os sistemas com da G24 (a), E (b), A (c), e G22 (d). | 36 |

LISTA DE TABELAS

Páginas

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Composição granulométrica para as profundidades do ARGISSOLO Amarelo. | 15 |
| Tabela 2. Análise química do solo da área experimental. | 15 |
| Tabela 3. Parâmetros específicos de cada grupo de equipamentos. | 27 |
| Tabela 4. Densidade, porosidade total do solo e o índice de permanência de palha no solo (IPS) em função dos sistemas de preparo nas camadas. | 32 |
| Tabela 5. Resistência mecânica do solo à penetração do solo (MPa) em função dos sistemas de preparo nas camadas estudadas. | 34 |
| Tabela 6. Dados do semivariograma para a resistência mecânica do solo à penetração (RP) para os sistemas de preparo (SP). | 35 |
| Tabela 7. Dados da validação cruzada para a resistência mecânica à penetração do solo (RP) para os sistemas de preparo do solo. | 35 |
| Tabela 8. Largura, profundidade efetiva e capacidade de campo durante a operação de preparo do solo. | 37 |
| Tabela 9. Variação da velocidade, rendimento de campo, força de tração e potência estimadas durante a operação de preparo do solo. | 38 |
| Tabela 10. Profundidade efetiva de trabalho e capacidade de campo na semeadura em função dos sistemas de preparo (SP) e velocidades de semeadura (VS). | 40 |
| Tabela 11. Variação da velocidade, rendimento de campo teórico, força de tração e potência estimadas na semeadura em função dos sistemas de preparo (SP) e velocidades de semeadura (VS). | 41 |
| Tabela 12. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de semeadura (VS) para a força de tração. | 42 |
| Tabela 13. Percentual de espaçamentos correspondentes às classes: normais, múltiplos e falhos em função dos sistemas de preparo (SP) e velocidades de semeadura (VS). | 43 |
| Tabela 14. Número de dias para emergência de plântulas e estande de plantas em função dos sistemas de preparo e velocidade de semeadura. | 43 |

| | |
|---|----|
| Tabela 15. Altura de planta (AP) aos 30, 60 e 90 dias após semeadura e diâmetro de colmo (DC) em função dos sistemas de preparos (SP) e velocidade de semeadura (VD)..... | 44 |
| Tabela 16. Quantidade de espigas viáveis por dois metros e altura de inserção da primeira espiga em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de semeadura (VS). | 45 |
| Tabela 17. Comprimento, diâmetro, quantidade de fileiras e quantidade de grãos da espiga do milho em função dos sistemas de preparo e velocidade de semeadura. | 46 |
| Tabela 18. Desdobramento da interação sistemas de preparo e velocidade de semeadura para a quantidade de fileiras na espiga..... | 47 |
| Tabela 19. Massa de 100 grãos, massa seca de plantas, produtividade e índice de colheita do milho para sistemas de preparo e velocidade de semeadura. | 47 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 9 |
| 2.1 | Preparo e atributos físicos do solo | 9 |
| 2.2 | Velocidade de semeadura | 11 |
| 2.3 | Desempenho operacional de máquinas | 13 |
| 2.4 | A cultura do milho | 13 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 3.1 | Local | 15 |
| 3.2 | Equipamentos e insumos | 16 |
| 3.3 | Delineamento | 20 |
| 3.4 | Atributos físicos do solo | 21 |
| 3.4.1 | Porcentagem de cobertura do solo | 21 |
| 3.4.2 | Densidade do solo e porosidade total | 21 |
| 3.4.3 | Umidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração | 22 |
| 3.5 | Desempenho do trator | 24 |
| 3.5.1 | Velocidade teórica (V_t), velocidade efetiva (V_{ef}) e a variação de velocidade (ΔV) | 24 |
| 3.5.2 | Largura e profundidade de trabalho | 25 |
| 3.5.3 | Capacidades de campo | 25 |
| 3.5.4 | Força de tração e potência estimada | 26 |
| 3.6 | Avaliação da cultura do milho | 27 |
| 3.7 | Análise dos dados | 30 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 4.1 | Atributos físicos do solo | 32 |
| 4.1.1 | Densidade, porosidade do solo e índice de permanência de palha | 32 |
| 4.1.2 | Resistência mecânica do solo a penetração (RP) | 33 |
| 4.2 | Variáveis do conjunto trator-equipamento | 37 |
| 4.2.1 | No preparo do solo..... | 37 |
| 4.2.2 | Na semeadura | 39 |
| 4.3 | Características agrônômicas da planta de milho | 42 |
| 5 | CONCLUSÕES | 49 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 50 |

1 INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura que vem sendo cultivada e aprimorada há décadas, sendo de grande importância para alimentação humana e animal, e considerada base da alimentação humana em algumas regiões do mundo, como no México, berço do surgimento da cultura. Com o passar dos anos a demanda por maior quantidade de alimento foi aumentando a necessidade de melhorar a produtividade do milho. Dentre as técnicas de melhoria, é necessário estudar o manejo do solo que possa se adequar às condições locais e também os equipamentos agrícolas permitam a realização do melhor trabalho.

O milho é, hoje, a segunda maior cultura do Brasil, apresentando uma produção de 71,3 milhões de toneladas de grãos em 2012 e uma produtividade média de 5.1 Mg ha⁻¹, esse acréscimo foi devido a estabilidade dos preços, os estoques baixos e a preferência pela cultura (boa relação custo/benefício) fazendo com que o produtor investisse na semeadura (IBGE, 2013). Em 2013 o milho obteve safra recorde com 80,7 milhões de toneladas e produtividade média de 5.2 Mg ha⁻¹, este fato se deu ao incremento de tecnologia e aos bons preços praticados no mercado induzindo assim os produtores a investirem na cultura (IBGE, 2013).

Existem vários sistemas de preparo do solo, segundo ASAE (1997), os quais são enquadrados em categorias definidas como: a) convencional, que é a combinação de duas ou mais operações; b) reduzido, uma única operação; e, c) semeadura direta, ou seja, a semeadura em solo não preparado. O sistema convencional de preparo do solo consiste na realização de uma aração, caracterizada pelo preparo primário do solo, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento, também denominada de operações de preparo secundário (CARVALHO FILHO et al., 2007).

Máquinas usadas em conjunto deverão ser adequadas umas as outras; por exemplo, um trator deverá ser capaz de fornecer a quantidade de potência para tracionar ou acionar toda a gama de implementos ou máquinas selecionadas para o trabalho em combinação, na melhor velocidade de operação possível (SILVEIRA et al., 2006). Deste modo, a capacidade de trabalho da máquina, a eficiência de campo e os requisitos de potência são fatores fundamentais no gerenciamento da utilização da maquinaria.

O uso intensivo de máquinas pode provocar compactação aos solos devido às pressões geradas pela área de contato pneu-solo. Pode-se diagnosticar a compactação por meio de métodos científicos ou práticos; os primeiros requerem aparelhos específicos e são de grande confiabilidade, enquanto que os métodos práticos informam o resultado de forma mais rápida (CARVALHO et al., 2004). A compactação causa algumas modificações nos solos, tais como: aumento da resistência mecânica do solo à penetração radicular, redução da aeração, aumento da densidade do solo, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes e nas plantas; emergência lenta, sistema radicular raso, plantas desuniformes e coloração deficiente. (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de preparo do solo e da velocidade de semeadura do milho, em atributos da relação máquina-solo-planta no semiárido nordestino.

Especificamente objetivou:

- Avaliar atributos físicos do solo;
- Estabelecer relação entre capacidade de campo efetivo e operacional, rendimento de campo e força na barra de tração no preparo;
- Avaliar características agronômicas da cultura do milho;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Preparo e atributos físicos do solo

O uso intensivo de máquinas principalmente em áreas onde se faz o preparo do solo com grades e arados, provoca revolvimento excessivo do solo pulverizando a camada superficial e compactando camadas subsuperficiais, interferindo diretamente na estrutura do solo, no adensando das partículas, na diminuição da porosidade e no armazenamento de água no perfil, podendo prejudicar o desenvolvimento e a produtividade das culturas. O revolvimento excessivo aumenta o volume do solo, diminuindo o acúmulo de água na camada revolvida devido às tensões matriciais serem menores (STONE; MOREIRA, 2000).

Silva & Mielniczuk, (1997) em estudo com Argissolo vermelho verificaram que o DMP (Diâmetro Médio Ponderado) dos agregados diminuiu após o preparo convencional do solo (aração e gradagem). É observado que, em solos sob floresta que sofre preparo convencional e sistema plantio direto que houve variação da estrutura principalmente no que diz respeito à densidade do solo devido a aproximação das partículas de solo que ocasionado pela pressão dos rodados dos tratores agrícolas e ou pela compressão exercida pela lamina do arado (COSTA et al., 2003).

Para que as sementes germinem e possam ter condições favoráveis a desenvolvimento de seu sistema radicular, é necessário encontrar um ambiente propício. No entanto algumas características do solo como umidade durante o preparo, o teor de argila e de matéria orgânica do solo, a profundidade de mobilização e o tipo de equipamento utilizado podem levar à modificações da estrutura do solo. Tais modificações acarretam restrições ao crescimento das raízes, devido a compactação causada pela pressão exercida pelas rodas dos tratores e por alguns implementos utilizados no preparo do solo. Quando é realizado o preparo com equipamentos que contenham hastes, como os escarificadores, não se observa compactação (DE MARIA, 1999).

Feitosa et al. (2013) em estudo com Argissolo Amarelo realizaram preparos de solo com duas grades off-set, uma com discos de 0,61 m de diâmetro e a outra com 0,56 m, grade em tandem e escarificador, e observaram que os mesmos não

afetaram de forma significativa o diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico, a estabilidade de agregados, a densidade e porosidade do solo.

Costa et al. (2003) acompanharam ao longo de 21 anos a qualidade física de um solo com atividades agrícolas, em que ambos os sistemas de manejo do solo, (preparo convencional e plantio direto) causaram degradação da estrutura física do solo principalmente no acréscimo da densidade. Isso ocorreu devido ao tráfego intenso de máquinas, sendo esse processo degenerativo pode ser agravado de acordo com a classe de solo e a condição de umidade de solo, na qual são realizadas as operações. Ainda Costa et al (2003) afirma que o preparo convencional ainda reflete em uma diminuição da porosidade total do solo em camadas subsuperficiais podendo indicar camadas compactadas. Com isso, há tendência de redução da condutividade hidráulica com o aumento da profundidade do solo em preparo convencional, refletindo no conteúdo de água que tende a ser reduzido com relação ao sistema plantio direto. Isso ocorre devido a menor infiltração de água pela à formação de selamento superficial e uma maior evaporação, indicando menor armazenamento de água, e isso se dá principalmente pela ausência de cobertura vegetal.

A densidade e a porosidade do solo estão relacionados com trabalho realizado e pelo tráfego de máquinas, por isso que a densidade do solo é considerada uma das propriedades mais dinâmicas, podendo ser um indicador de compactação do solo e um indicador do desenvolvimento do sistema radicular, (ARAÚJO et al., 2012).

Em cultivos agrícolas, o preparo do solo deve alterar o mínimo possível as características físicas e químicas originais, principalmente aquelas que diminuem a quantidade de poros e agregados, podendo prejudicar a infiltração e a retenção de água no solo, e conseqüentemente ocasionar compactação do solo afetando a aeração do solo devido ao rearranjo das partículas do solo. O preparo convencional do solo, além de desintegrar fisicamente as camadas superficiais do solo, muitas vezes, pode favorecer a formação de uma camada restritiva ao desenvolvimento radicular, bem como influenciar a dinâmica do solo. E em estudo ao desenvolvimento da cultura do feijão com preparo convencional observaram que as parcelas com arado de aiveca apresentou maior produtividade com relação ao preparo com grade e o sistema plantio direto (ARF et al., 2004).

As propriedades físicas do solo podem ser modificadas dependendo do manejo e da intensidade do preparo, e em muitas das vezes essas modificações não são satisfatórias, principalmente quando aumenta a densidade do solo, diminui a porosidade e compacta algumas das camadas subsuperficiais do solo, limitando a infiltração e a redistribuição de água, limitando a adsorção e ou absorção de nutrientes do solo para as plantas, resultando e futuros problemas de erodibilidade queda na produção (CORTEZ et al., 2011).

CORTEZ et al. (2011) trabalhando em Argissolo Amarelo sob preparo convencional no semiárido nordestino, verificaram que o preparo interferiu na densidade do solo na camada de 0,10-0,20 m, apresentando maior porosidade nas áreas sem preparo, enquanto que nas áreas preparadas com escarificador e grade leve off-set com discos de 0,61 m de diâmetro, apresentou menor porosidade, sendo que no tratamento com escarificador, a resistência mecânica à penetração é menor.

Mello Ivo e Mielniczuk (1999) estudando os efeitos ocasionados pelo preparo do solo Podzólico Vermelho-Escuro com cinco anos de utilização por preparo convencional, reduzido e sistema plantio direto observaram um aumento da porosidade total, e, isso ocorreu como consequência da quebra de um perfil compactado devido a fraqueza entre os agregados, consequentemente aumentou os macroporos, uma vez que os microporos não diferiram significativamente entre os modos de organização.

2.2 Velocidade de semeadura

A produtividade do milho pode ser influenciada pelo estande e pela uniformidade de distribuição de sementes, e estas podem ser afetadas por diversos fatores, sendo o principal a velocidade de semeadura (KURACHI et al., 1989). Enquanto Silva (2000), estudando a velocidade de deslocamento na semeadura da cultura do milho verificou que não ocorre interferência na distribuição uniforme de sementes. Reis e Alonço (2001) em pesquisa com diversos mecanismos dosadores de sementes concluíram que velocidades acima de $7,5 \text{ km h}^{-1}$ não interferem na qualidade de distribuição das sementes tanto para semeadoras com mecanismos pneumáticos como para as de disco horizontal.

A variação da velocidade na semeadura do milho pode afetar a produtividade desde que, com o incremento da velocidade aumente a quantidade de espaços falhos e duplos e, com isso a quantidade de plantas com espigas viáveis diminua, (GARCIA, 2006). Jung et al. (2009) em estudo com semeadora de disco e uma pneumática testaram três velocidades de semeadura de 4,9; 5,8; 7,0 km h⁻¹ e não encontraram variação na produtividade.

A elevação da densidade de plantas tem caracterizado como uma das formas de potencializar a produção do milho e da soja, só que, com o incremento das velocidades a distribuição longitudinal do milho reduziu o percentual aceitável, teve aumento o número de falhos e aumentou significativamente o percentual de espaçamentos duplos (DIAS et al., 2009).

Mello et al. (2003) avaliando dois mecanismos dosadores de sementes, um mecânico (disco) e um pneumático em velocidades na cultura do milho, constataram que a velocidade não afetou a produtividade em solo com preparo convencional, apresentando melhor distribuição longitudinal de sementes para as velocidades de 5,0 e 6,2 km h⁻¹ em ambas as semeadoras, sendo que o sistema dosador do sistema pneumático apresentou melhor desempenho na distribuição longitudinal das sementes com relação ao sistema horizontal de disco.

Pinheiro Neto et al. (2008) observaram em experimento com semeadora de disco e pneumática que a porcentagem de espaçamentos aceitáveis e a população de plantas foi reduzido com o incremento da velocidade na semeadura. Os autores afirmam que, a maior produtividade apresentou-se nas áreas com menor população de plantas, os mesmos autores afirmam, ainda, que indiferente da velocidade, a semeadora pneumática apresentou melhores valores quanto aos espaçamentos aceitáveis e superiores na porcentagem de espaçamentos duplos.

Mahl et al. (2001) avaliando três velocidades de deslocamento e dois mecanismos sulcadores em Argissolo, concluíram que, o aumento da velocidade na semeadura de milho reduziu o percentual de espaçamentos aceitáveis e, conseqüentemente, aumentou o percentual de espaçamentos múltiplos e falhos. Ainda Mahl et al. (2004) apresentam valores semelhantes em que o incremento da velocidade diminuiu o percentual de espaços normais e aumentou o percentual de espaços múltiplos e falhos.

2.3 Desempenho operacional de máquinas

Com o aumento da mecanização agrícola é cada vez mais necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, exigindo cada vez mais equipamentos com maior potência para atender as diversas atividades agrícolas. Com isso é necessário um maior gerenciamento sobre a rentabilidade do negócio (OLIVEIRA, 2000).

Segundo Pacheco (2000) um conjunto mecanizado ao realizar operações agrícolas, pode ser considerado como um ponto para redução dos custos, pois este representa, dependendo da cultura, de 20 a 40% dos custos de produção.

A mensuração da capacidade de trabalho realizados em unidade tempo por um conjunto mecanizado é denominado capacidade de campo operacional (CCO), assim classificada como a relação entre área ou produção obtida e o tempo total que o conjunto mecanizado permaneceu no campo, enquanto que, na capacidade de campo efetiva (CCE) não é considerado o tempo perdido com manobras em cabeceiras, com reabastecimento e regulagens (Balastreire, 1987).

Segundo Silveira et al. (2006) a capacidade de trabalho ou de campo das máquinas agrícolas é função dos seguintes fatores: largura de trabalho da máquina, velocidade de deslocamento, porcentagem de tempo parado ou não operado devido ao tempo gasto no deslocamento para a área a ser trabalhada e em manobras entre outras atividades que podem surgir durante o processo.

Rodrigues et al. (2011) estudando a capacidade operacional de um conjunto mecanizado identificaram que o preparo do solo e velocidade da operação de semeadura influenciaram o desempenho operacional da cultura do sorgo forrageiro.

2.4 A cultura do milho

Os primeiros cultivos de milho foram datados há menos 7.300 anos, no México, onde a cultura foi domesticada e disseminada pelo resto do continente chegando até a América do sul. Ou seja, antes do descobrimento da América do Norte e da América do sul os índios já cultivavam o milho, alimento de fundamental importância até hoje em sua alimentação. O milho é referenciado em rituais artísticos e religiosos para os indígenas, até mesmo na cultura nordestina na época dos festejos juninos o milho é base das comidas típicas (EMBRAPA, 2008).

Na época da colonização do Brasil, o cultivo do milho raramente ultrapassava $1,50 \text{ Mg ha}^{-1}$, tendo melhorado apenas no início do século passado com a introdução de cultivares mais produtivas em conjunto com aplicação de técnicas e insumos, com a produção aumentando progressivamente até os dias atuais (MUNDSTOCK, 2005).

A média de produtividade do milho no Brasil é de 3.550 kg ha^{-1} enquanto que a média de produtividade na região nordeste é de 2.075 kg ha^{-1} , reflexo das baixas produtividades nos estados do Pernambuco, Paraíba, Alagoas e Rio Grande do Norte, variando em torno de 565 kg ha^{-1} (CONAB, 2013).

A cultura do milho é altamente dependente da variação meteorológicas, principalmente da temperatura do ar, da pluviosidade e radiação solar. A produtividade dos grãos tem variação durante o ano devido a estas variabilidades climáticas e com isso o conceito de alta produtividade em lavouras de milho é variável de acordo com a localidade e a época do ano (MUNDSTOCK, 2005). O solo funciona como um reservatório de água para as plantas, a disponibilidade de água pode ser alterada por meios de alguns fatores que determinam a estrutura do solo, tais como o arranjo das partículas e conseqüentemente a distribuição dos poros, textura, tipos e quantidades de argilas e o teor de matéria orgânica, estes fatores são importante na distribuição dos diâmetros dos poros (KLEIN; LIBARDI, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Vale do São Francisco - *Campus* de Ciências Agrárias em Petrolina – PE, que se localiza a uma latitude 09°23' sul e a uma longitude 40°30' oeste, a uma altitude de 376 m. Segundo BRASIL (1973), utilizando a classificação de Köppen, o clima desta área apresenta-se como tropical semiárido, tipo BshW, seco e quente na parte norte e semiárido quente estípico na parte sul, caracterizado pela escassez e irregularidade das precipitações com chuvas no verão e forte evaporação em consequência das altas temperaturas. O solo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média (Tabela 1) por Amaral et al. (2006), utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A área de instalação do experimento estava cultivada com sorgo forrageiro sob sistemas de preparo do solo convencional, e possui sistema linear de irrigação para a manutenção da umidade do solo no momento do preparo, coleta de dados e da cultura. A análise química do solo (Tabela 2) foi utilizada para a recomendação de adubação (CFSEMG, 1989).

Tabela 1. Composição granulométrica para as profundidades do ARGISSOLO AMARELO.

| Profundidade m | Argila kg kg ⁻¹ | Areia kg kg ⁻¹ | Silte kg kg ⁻¹ |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0,00-0,10 | 0,090 | 0,878 | 0,032 |
| 0,10-0,20 | 0,100 | 0,883 | 0,017 |
| 0,20-0,30 | 0,080 | 0,852 | 0,068 |
| 0,30-0,40 | 0,140 | 0,807 | 0,053 |
| 0,40-0,50 | 0,180 | 0,742 | 0,078 |

Fonte: Adaptado de Cortez et al. (2011)

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental.

| MO | pH | C.E. | P | K | Ca | Mg | Na | Al | H + Al | S | CTC | V |
|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|-----|-----|------|------|--------|------|------|----|
| g kg ⁻¹ | H ₂ O 1:2,5 | dS m ⁻¹ | mg dm ⁻³ | -----cmolc dm ⁻³ ----- | | | | | | | | % |
| 6,52 | 5,9 | 0,48 | 48 | 0,33 | 1,5 | 0,6 | 0,01 | 0,05 | 1,32 | 2,44 | 3,76 | 65 |

MO: matéria orgânica; P: fósforo em resina; S: soma das bases; CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: saturação por bases.

3.2 Equipamentos e insumos

Como fonte de potência para tracionar os equipamentos de preparo do solo foi utilizado um trator da marca: Valtra, modelo: 785 TDA (tração dianteira auxiliar), com 55,20 kW (75 cv) de potência nominal no motor, com pneus dianteiros R1 e traseiros – R1 18.4 – 30, com marchas: primeira, segunda e terceira em alta e baixa e rotação de trabalho no motor a 2044 rpm. As velocidades teóricas de deslocamento serão obtidas pelo escalonamento de marchas do trator.

Os demais equipamentos para o preparo do solo foram:

- Arado de aivecas (A), modelo ARH2, massa de 570 kg com duas aivecas recortadas, profundidade de 0,40 m (Figura 1).



Figura 1. Arado de aivecas.

- Grade leve off-set, (G22), modelo: GAM, com 8 discos em cada seção (duas), sendo recortados de 0,56 m e distância entre discos de 0,23 m e profundidade de 0,18 m (Figura 2).



Figura 2. Grade leve off-set de 16 discos.

- Grade leve off-set, (G24), modelo: ATCR, com 7 discos em cada seção (duas), com discos recortados de 0,61 m e distância entre discos de 0,23 m, profundidade de 0,20 m (Figura 3).



Figura 3. Grade leve off-set de 14 discos.

- Escarificador (E), modelo: AST, com 3 hastes e ponteira estreita de 0,05 m, profundidade de 0,30 m (Figura 4).



Figura 4. Escarificador de três hastes.

- Grade leve em Tandem, modelo: GH, com 7 discos em cada seção (quatro), sendo recortados na dianteira de 0,51 m e lisos na traseira com mesmo diâmetro e distância entre discos de 0,19 m. Profundidade de trabalho de 0,10 m (Figura 5).



Figura 5. Grade leve em Tandem.

- Semeadora de 04 linhas, modelo: T²SI, espaçamento entre linhas regulado de 800 mm, capacidade de adubo - 50 kg por deposito e sementes - 34 litros por deposito, massa de 675 kg, e profundidade da semente de 50 mm, e categoria de engate – II (Figura 6).



Figura 6. Semeadora adubadora de 04 linhas.

- Para a coleta de dados pontual e de perfil da resistência mecânica do solo à penetração foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf desenvolvido por Stolf et al. (1983), com as seguintes características: massa de 4 kg que provoca impacto quando colocada em curso de queda livre de 0,40 m; cone com ângulo sólido de 30° e 1,28 cm de diâmetro; haste com diâmetro de 0,95 cm. Para avaliação da umidade do solo foi utilizado estufa e balança analítica de precisão de 0,01g, além de cilindros de aço galvanizado com dimensões de 57 x 50 mm e capacidade de 128 cm³.

- Para a determinação da porosidade total foram utilizadas bandejas de aço galvanizado onde os anéis contendo o solo foram colocados para saturação por um período de 24 h e pesados posteriormente (CAMARGO et al.,1986).
- Para a determinação da porcentagem de cobertura do solo, antes e após a operação de preparo, foi utilizada trena com 50 m de comprimento com marcações equidistantes de 0,15 m;
- Durante a coleta referente ao conjunto trator equipamento foi utilizado cronômetro digital com precisão em minutos, segundos e milésimos de segundos.

Na determinação das variáveis de planta foi utilizado conforme as variáveis analisadas os seguintes materiais e equipamentos:

- Piquetes em madeira com altura de 30 cm para delimitar a área de estande inicial e final; Bastão-trena com altura de 3,0 m e precisão de 0,5 m para medição de altura da planta; Paquímetro digital e precisão de 0,1 mm na medição do diâmetro do colmo; Tesoura de poda em aço, estufa digital de circulação de ar forçada com precisão de 0,1°C e balança digital com precisão de 0,01 g para avaliação de biomassa.

Os insumos que foram utilizados são:

- Sementes de milho BRS1055, com pureza de 98%, germinação de 85% e media de distribuição de 60.000 plantas por ha.
- Adubos inorgânicos com as seguintes composições:
 - ✓ Nitrogênio - uréia na dose de 50 kg ha⁻¹ na semeadura e de 200 kg ha⁻¹ na cobertura; Fosforo - superfosfato simples granulado na dose de 100 kg ha⁻¹ com uma única aplicação, sendo esta na semeadura; Potássio - cloreto de potássio granulado na dose de 50 kg ha⁻¹ na semeadura e de 50 kg ha⁻¹ em cobertura.

A adubação de semeadura foi complementada com 50 kg de FTE (micronutrientes) e a adubação de cobertura foi realizada após 30 dias da semeadura, período em que também ocorreu a capina manual da área.

Para o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi utilizado inseticida do grupo químico metilcarbamato de oxima na dose de 0,6 L ha⁻¹ com calda de 300 L ha⁻¹ e, para controlar formigas cortadeiras foi utilizada isca granulada

de sulfluramida com aplicação de 8 a 10 g de isca por metro quadrado de terra solta do formigueiro.

3.3 Delineamento

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso (Figura 1) com esquema de parcelas subdivididas e 4 repetições (4 blocos – Figura 7). Os quatro sistemas de preparo, aplicados nas parcelas principais, foram: grade leve com discos de 0,61 m (24”) (G24), escarificador (E), arado de aiveca (A) e grade leve off-set com discos de 0,56 m (22”) (G22). Para o arado e escarificador foi realizado gradagem prévia para remoção da palhada. Nas subparcelas, foram aplicadas três velocidades de deslocamento teóricas (V1, V2, V3) durante a semeadura, sendo: V1 - 10,7 km h⁻¹, V2 - 8,7 km h⁻¹ e V3 - 5,0 km h⁻¹. Cada velocidade refere-se a uma marcha V1 - primeira simples, V2 – terceira reduzida e V3 – segunda reduzida (Figura 8).

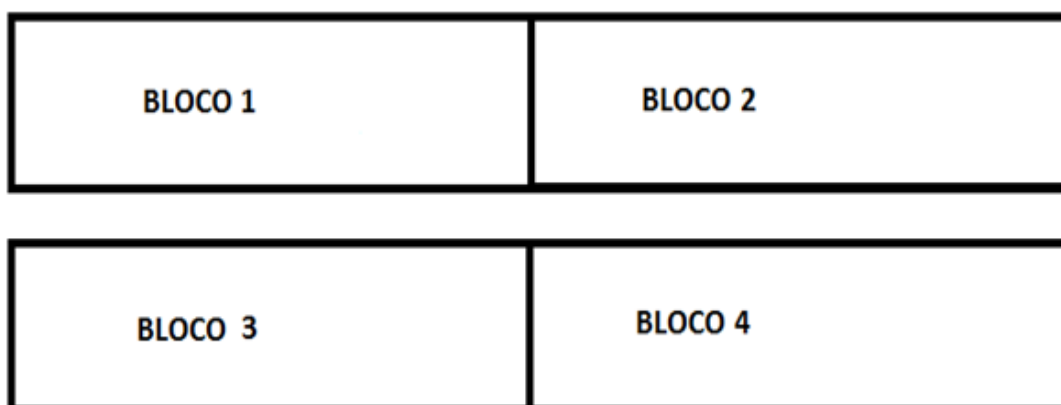


Figura 7. Delineamento experimental.

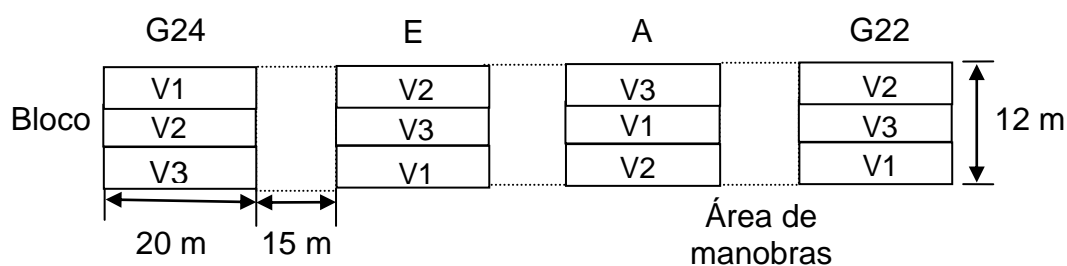


Figura 8. Croqui de montagem do experimento, considerando um bloco.

No sentido longitudinal entre as parcelas, foi reservado um espaço de 15 m, destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização dos conjuntos (Figura 8).

3.4 Atributos físicos do solo

3.4.1 Porcentagem de cobertura do solo

Foi determinada a porcentagem de cobertura do solo antes e após a operação de preparo, utilizando-se uma trena de 15 m de comprimento com marcações equidistantes de 0,15 m resultando em 100 pontos de leitura (Figura 3) conforme metodologia descrita por Laflen et al. (1981).

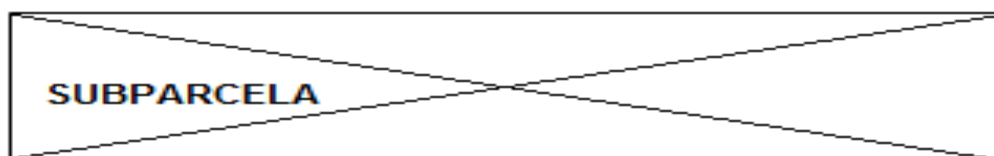


Figura 9. Esquema para determinação da porcentagem de cobertura do solo.

Foi determinado o índice de permanência de cobertura vegetal sobre o solo após o preparo, em que quanto mais próximo de 1,0 (um) menor é o revolvendo a palha (LAFLEN et al., 1981). Assim determinado pela Equação 1.

$$ICV = \frac{CP}{CA} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

ICV: índice de cobertura vegetal (%);

CP: Cobertura após o preparo;

CA: Cobertura antes do preparo.

3.4.2 Densidade do solo e porosidade total

As amostras indeformadas para avaliação de densidade foram coletadas utilizando anéis volumétricos que apresentam uma das bordas cortantes, com volume de 128 cm³. As amostras de solo foram coletadas em um ponto aleatório dentro de cada parcela nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 m. Após serem coletadas, as amostras de solo foram secas em estufa à temperatura de 105-110° C até a massa constante segundo metodologia da Embrapa (2011). Depois

de secas, as amostras foram pesadas, para a obtenção dos valores necessários no cálculo da densidade do solo empregando a Equação 2.

$$D_s = \frac{M}{V} \text{ em que } M = MSA - TA \quad (2)$$

Em que:

D_s : densidade em (g cm^{-3});

V : volume total (cm^3);

M : massa do solo (g);

MSA : massa seca de solo + o peso do anel (g);

TA : peso do anel sem solo (g).

A porosidade total (P_t) determinada foi obtida após os anéis terem sido colocados em bandeja com água até atingirem o ponto de saturação e sendo pesados novamente (Equação 3), a partir daí foi obtido a porosidade total segundo Camargo et al. (1986).

$$P_t = \frac{(V_t - V_s)}{V_t} \times 100 \text{ onde } V_s = V_t - V_v \text{ e } V_v = (M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}) \quad (3)$$

Em que:

P_t : porosidade total (%);

V_t : volume total (g);

V_s : volume de sólidos (g);

V_v : volume de vazios (g);

M_{sat} : massa do anel saturado com água (g);

M_{sec} : massa seca de solo com o anel (g).

3.4.3 Umidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração

A determinação da umidade do solo foi realizada em amostras coletadas nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,0-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m de modo

aleatório na área empregando-se o método gravimétrico. O valor da umidade do solo foi determinado conforme Equação 4.

$$US = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

US – Umidade do solo (%);

MI – massa úmida de solo mais o peso do anel (g);

MII – massa seca de solo mais o peso do anel (g);

TA – peso do anel em (g).

Para a coleta de dados pontual (Figura 3) referente à resistência mecânica do solo à penetração foi utilizado penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf desenvolvido por Stolf et al. (1983). Os dados foram coletados até a profundidade de 0,50 m e transformados para MPa conforme Stolf (1990;1991) descreve na equação abaixo.

$$RP = \frac{5,8 + 6,89N}{10,2} \quad (5)$$

Em que:

RP – resistência à penetração (MPa);

N – número de impactos.

Em função da largura de trabalho de cada equipamento foi avaliado o perfil da área de preparo com o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - Stolf (Figura 10), sendo a coleta transversal ao deslocamento do conjunto mecanizado a cada 0,15 m até a profundidade de 0,40 m.

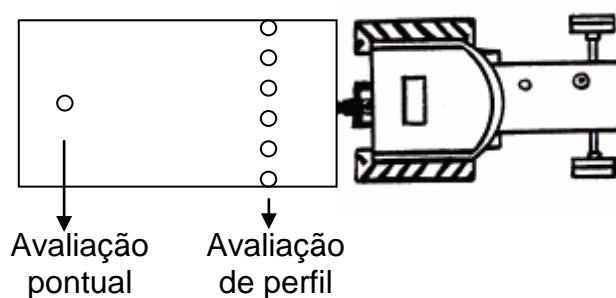


Figura 10. Esquema para coleta de dados pontual e de perfil.
Fonte: Alves (2009).

3.5 Desempenho do trator

3.5.1 Velocidade teórica (V_t), velocidade efetiva (V_{ef}) e a variação de velocidade (ΔV)

A velocidade teórica (V_t) do trator em cada marcha foi obtida no manual de operação. Para medição da velocidade efetiva foi coletado o tempo de percurso do conjunto do conjunto mecanizado em cada subparcela e em todas as repetições, com o auxílio de um cronômetro com precisão de centésimos de segundos. Portanto, a velocidade efetiva foi determinada pela Equação 6.

$$V_{ef} = \frac{d}{t} \times 3,6 \quad (6)$$

Em que:

V_{ef} – velocidade em km h^{-1} ;

d – distância em m;

t – tempo de percurso em s;

3,6 – fator de transformação para km h^{-1} .

A variação da velocidade, ou seja, a diferença entre a teórica e a real foi obtida de acordo com a Equação 7.

$$\Delta V = V_t - V_{ef} \quad (7)$$

Em que:

ΔV - variação da velocidade em km h^{-1} .

3.5.2 Largura e profundidade de trabalho

A largura e profundidade teórica foram obtidas no manual de operação indicando 1,50 m e até 0,18 m, respectivamente. A largura e profundidade efetiva foram obtidas em campo com o auxílio de trena.

3.5.3 Capacidades de campo

Para o cálculo da capacidade de campo teórica (CCT) foram utilizado os valores de largura e velocidade dos manuais de operação, sendo aplicado, posteriormente a Equação 8.

$$CCT = \frac{L \times V}{10} \quad (8)$$

Em que:

CCT – capacidade de campo teórica (ha h^{-1});

V – velocidade teórica de deslocamento (km h^{-1});

L – largura teórica do implemento (m);

10 – fator de conversão para ha h^{-1} .

Para o cálculo da capacidade de campo efetiva (CCE) foi utilizada a Equação 9 com os dados obtidos em campo para as variáveis da equação.

$$CCE = \frac{L_{mr} \times V_m}{10} \quad (9)$$

Em que:

CCE – capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

V_m – velocidade real de deslocamento (km h^{-1});

L_{mr} – largura média de trabalho do equipamento (m);

10 – fator de conversão para ha h^{-1} .

Para o cálculo da capacidade de campo operacional (CCO) foi utilizada a Equação 10.

$$CCO = CCE \times Ef \quad (10)$$

Em que:

CCO – capacidade de campo operacional (ha h⁻¹);

Ef – eficiência da operação (70% segundo Mialhe (1996)).

Para o cálculo do rendimento de campo teórico (RCT) foi utilizada a Equação 11.

$$RCT = \frac{CCE}{CCT} \times 100 \quad (11)$$

Em que:

RCT – rendimento de campo teórico (%);

CCE – capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

CCT – capacidade de campo teórica (ha h⁻¹).

3.5.4 Força de tração e potência estimada

Para estimar a força de tração consumida pelo trator no momento da operação de preparo do solo utilizou-se a equação da ASAE (2003) (Equação 12).

$$F = Si \cdot [A + B \cdot (v) + C \cdot (v)^2] \cdot L \cdot h \quad (12)$$

Em que:

F – força requerida para tração (N);

Si – fator adimensional referente à textura do solo;

A, B e C – parâmetros específicos de cada grupo de equipamentos (Tabela 3);

v – velocidade efetiva (km h⁻¹);

L – largura efetiva de trabalho (m);
h – profundidade efetiva de trabalho (cm).

Tabela 3. Parâmetros específicos de cada grupo de equipamentos.

| Equipamento agrícola | Largura/Unidade | Parâmetros de máquina | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|------|-----|
| | | A | B | C |
| Escarificador | Hastes | 107 | 6,3 | 0,0 |
| Arado de aivecas | Metros | 652 | 0,0 | 5,1 |
| Grade off-set de discos de 0,56 m | Metros | 364 | 18,8 | 0,0 |
| Grade off-set de discos de 0,61 m | Metros | 364 | 18,8 | 0,0 |

Fonte: Adaptado de ASAE (2003).

A potência estimada foi determinada com o auxílio da Equação 13.

$$P = F \times V \quad (13)$$

Em que:

P – potência (kW);

F – força de tração (kN);

V – velocidade em (m s^{-1}).

3.6 Avaliação da cultura do milho

O milho cultivado foi o BRS 1055 é um híbrido simples, que foi desenvolvido para lavouras de alto a médio investimento que apresenta de grande a média produtividade, é uma cultivar resistente ao acamamento e ao quebramento de porte médio. Apresentando como características: ciclo semiprecoce, um florescimento feminino (a partir da semeadura) 65 dias / 978 graus-dias, altura média da planta de 2,38 m, altura média da espiga 1,26 m, comprimento médio das espigas 0,16 m, diâmetro médio das espigas 0,043 m, número médio de fileiras de grãos 14, tipo de grão semidentado, coloração dos grãos Vermelha, grau de empalhamento alto, peso de 1000 sementes 297 g, e peso hectolitro 760 g L⁻¹ (EMBRAPA, 2009).

Foram coletados dados da emergência até a estabilização do número de plântulas emergidas. O número médio de dias para emergência foi determinado por meio da Equação 14 (EDMOND; DRAPALA, 1958).

$$NDE = \frac{[(N_1 \cdot G_1) + (N_2 \cdot G_2) + \dots + (N_n \cdot G_n)]}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)} \quad (14)$$

Em que:

NDE: número médio de dias para a emergência das plântulas

N1: número de dias entre a semeadura e a primeira contagem de plântulas;

G1: número de plântulas emergidas na primeira contagem;

N2: número de dias entre a semeadura e a segunda contagem de plântulas;

G2: número de plântulas emergidas entre a primeira e a segunda contagem;

Nn: número de dias entre a semeadura e a última contagem de plântulas, e

Gn: número de plântulas emergidas entre a penúltima e a última contagem.

Na avaliação de distribuição longitudinal ou uniformidade de espaçamentos entre plântulas do milho, foi utilizado uma trena com precisão de 0,05 m, onde foram realizadas as leituras de distancias entre plantas em dois metros, para sendo as leituras realizadas na fileira central de cada subparcela.

A porcentagem de espaçamentos normais, falhos e duplos foi obtida de acordo com as normas da ABNT (1984) e Kurachi et al. (1989), considerando-se porcentagens de espaçamentos:

- "duplos" (D): <0,5 multiplicado pelo Xref.,
- "normais" (A): 0,5 < Xref. < 1,5, e
- "falhos" (F): > 1,5 multiplicado pelo Xref.

Em que o espaçamento médio esperado (Xref.) para o milho seja de 0,18 m entre plantas.

Na determinação do estande inicial foi utilizada uma marcação de comprimento igual a dois metros delimitada com piquetes e assim, foi efetuada a contagem do número de plantas neste espaço. As contagens foram realizadas na fileira central de cada subparcela.

A altura final de plantas foi efetuada pela contagem de cinco medições (plantas) na subparcela, especificamente na marcação para determinação de

estande e os valores expressos em média por subparcela utilizando-se trena com precisão de 0,5 cm. Essas medidas foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura.

Posteriormente, foram determinados os componentes morfológicos da cultura do milho: diâmetro do colmo, altura de inserção da primeira espiga (AIPE) e altura de plantas. A coleta foi efetuada em cinco plantas de milho de cada parcela, tomando como base a região do colo da planta (± 5 cm de altura) para o diâmetro, ponto de inserção da primeira espiga no colmo para AIPE e a folha bandeira (ponto inserção no colmo) para a altura de planta. Utilizou-se para medir o diâmetro do colmo, paquímetro digital com precisão de 0,1 mm e trena com precisão de 0,05 m para a altura de plantas e AIPE. Essas medidas foram realizadas aos 90 dias após a semeadura.

O número de espigas viáveis, índice de espiga (número de espigas por planta) foram calculados com base nos valores obtidos da contagem das plantas em dois metros de duas fileiras centrais.

A biomassa seca das plantas foi obtida pela coleta de 2 m lineares de plantas na parte central da subparcela e secagem em estufa a 70 °C por 48 horas até atingir massa constante, sendo o valor corrigido por hectare.

Com a coleta de dez espigas na parte central da subparcela, foram tomadas as medidas do número de fileiras de grãos na espiga, número de grãos em uma fileira e massa de 100 grãos. Estas espigas foram trilhadas em máquina estacionária própria para a cultura do milho, sendo a massa de grãos das 10 espigas pesadas, e com o número final do estande, obtidos de forma indireta a produtividade (equação 15) a 13% de umidade.

$$P = Me \times Ev \times Ap \quad (15)$$

Em que:

P – produtividade ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

Me – massa média de espigas ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

Ev – quantidade de espigas viáveis por metro quadrado;

Ap – área semeada (ha).

Com a produtividade e a biomassa seca da cultura do milho foi calculado o índice de colheita (Equação 16), que indica eficiência que a planta tem em converter a produção total de fitomassa acima do solo em produção total da parte colhida e economicamente viável da cultura (MARTINS & COSTA, 2003)

$$IC = \frac{MG}{MP} \times 100 \quad (16)$$

Em que:

IC – índice de colheita (%);

MG – massa seca dos grãos (kg ha⁻¹);

MP – massa seca total de planta (kg ha⁻¹).

3.7 Análise dos dados

A análise dos dados em parcela subdividida foi realizada pela análise de variância e posteriormente com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias.

Para verificação da dependência espacial a interpolação dos dados de resistência à penetração no perfil do solo e construção de mapas foi empregada à análise geoestatística. Foi construído o semivariograma, partindo-se das pressuposições de estacionaridade, da hipótese intrínseca e do cálculo da função semivariância. Foi calculado o semivariograma para analisar a dependência espacial. O ajuste do semivariograma foi observado pelo maior valor do coeficiente de determinação (R²), menor valor da soma de quadrados dos desvios (RSS) e maior valor do avaliador dependência espacial (ADE).

O ajuste do semivariograma foi realizado “a sentimento”, escolhendo-se um modelo e seus parâmetros, sobrepondo-o aos pontos estimados e verificando-se visualmente sua adequação. O semivariograma foi estimado pela Equação 17.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (17)$$

Em que:

$N(h)$ - número de pares de valores medidos e
 $Z(x_i), Z(x_i + h)$ - separados pelo vetor h .

O semivariograma forneceu estimativas dos parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance. O efeito pepita (C_0) é o parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada dos modelos, considerando a distância de amostragem utilizada. O semivariograma apresenta efeito pepita puro quando a semivariância for igual para todos os valores de h . O patamar ($C_0 + C$) é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante, sendo representado pelo ponto em que toda a semivariância da amostra é de influência aleatória. À medida que h aumenta a semivariância também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. O alcance da dependência espacial representa a distância na qual os pontos amostrais estão correlacionados entre si, conforme Silva (1988); Camargo (1997).

A análise da dependência espacial (ADE) foi efetuada segundo a equação desenvolvida, por Landim (1998) (Equação 18).

$$ADE = \frac{C}{(C + C_0)} 100 \quad (18)$$

Em que:

ADE - estimador da dependência espacial (%);

C - variância estrutural e

$C + C_0$ - patamar.

Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados. A krigagem, no entanto, faz uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima, que assegura a melhor estimativa dos dados não amostrados. Por meio de interpolação por krigagem os mapas de isolinhas (bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial dos atributos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos do solo

4.1.1 Densidade, porosidade do solo e índice de permanência de palha

Os sistemas de preparo periódico do solo não influenciaram a densidade do solo (Ds) e a porosidade total do solo (Pt) nas camadas amostradas ($P > 0,05$) (Tabela 4). Conforme Reinert et al. (2008) ao estudarem Ds de um Argissolo Vermelho observaram que valores de Ds até $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ não interagem negativamente no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, portanto os valores encontrados, segundo os autores, não restringem o crescimento radicular. Assim, este Argissolo Amarelo não apresenta compactação nas camadas amostradas, baseado na Ds, sendo então favorável ao desenvolvimento das culturas (REINERT et al., 2008 e DALLA CHIEZA et al., 2013).

Tabela 4. Densidade, porosidade total do solo e o índice de permanência de palha no solo (IPS) em função dos sistemas de preparo nas camadas.

| Sistema de preparo (SP) | | | | | | |
|--|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Camadas m | G24 | E | A | G22 | F | CV (%) |
| Densidade do solo (Mg m^{-3}) | | | | | | |
| 0,00 – 0,10 | 1,31 a | 1,31 a | 1,36 a | 1,28 a | 0,63 ns | 6,20 |
| 0,10 – 0,20 | 1,57 a | 1,47 a | 1,50 a | 1,53 a | 0,34 ns | 9,76 |
| 0,20 – 0,30 | 1,67 a | 1,60 a | 1,63 a | 1,67 a | 0,26 ns | 7,60 |
| 0,30 – 0,40 | 1,60 a | 1,58 a | 1,64 a | 1,63 a | 0,14 ns | 9,17 |
| Porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) | | | | | | |
| 0,00 – 0,10 | 0,49 a | 0,48 a | 0,43 a | 0,49 a | 1,94 ns | 8,35 |
| 0,10 – 0,20 | 0,42 a | 0,43 a | 0,41 a | 0,40 a | 0,15 ns | 13,09 |
| 0,20 – 0,30 | 0,37 a | 0,36 a | 0,35 a | 0,36 a | 0,15 ns | 11,34 |
| 0,30 – 0,40 | 0,40 a | 0,37 a | 0,38 a | 0,40 a | 0,15 ns | 16,40 |
| IPS (%) | 16,19 b | 16,42 b | 1,81 c | 33,24 a | 27,21** | 29,13 |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m. C.V.: coeficiente de variação.

Os sistemas de preparo do solo apresentaram diferença significativa no índice de permanência palha no solo (IPS) (Tabela 4), sendo a G22 com menor incorporação de palha; segundo Nagahama et al. (2013), provavelmente por causa da sua profundidade efetiva de trabalho (0,20 m). Enquanto que o A apresentou o menor IPS devido ao revolvimento da leiva e com isso promovendo a inversão das camadas, deixando a superfície do solo praticamente sem cobertura vegetal,

estando de acordo com Carvalho Filho et al. (2007). Os autores afirmam que os arados juntamente com a grade pesada (aradora) proporcionam menor cobertura da superfície do solo pelos resíduos vegetais quando estudaram os efeitos de sistemas de preparo periódico do solo na capacidade de incorporação de resíduos pelos equipamentos agrícolas. No entanto, a G24 e o E não diferiram estatisticamente, pode-se justificar este fato ao uso da grade G24 na parcela antes de preparo com o escarificador.

4.1.2 Resistência mecânica do solo à penetração (RP)

4.1.2.1 RP pontual

Observou-se variação significativa da RP para os sistemas de preparo do solo para as camadas 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m (Tabela 5). Na camada 0,10-0,20 m o E e o A apresentaram os menores valores de RP. Conforme Salvador et al. (1993), isso justifica-se pelo fato do arado de aivecas e escarificador apresentarem maiores mobilização e penetração no solo, respectivamente.

Entretanto na camada de 0,20 – 0,30 m observou-se que a G22 apresentou RP maior, isto devido a menor profundidade de trabalho dos órgãos ativos; na profundidade de 0,30-0,40 m os menores valores de RP foram para A devido a profundidade do trabalho realizada pelo equipamento, visto que Nagahama et al. (2013) verificaram profundidade efetiva para arado de aivecas de 0,42 m.

Para a camada de 0,40 – 0,50 m a RP não foi significativa entre os tratamentos, uma vez que os órgãos ativos dos equipamentos não atingiram esta camada. Os valores altos que se apresentaram a camada de 0,40-0,50 m podem ser caracterizados pela maior quantidade de argila nesta camada, por se tratar de uma Argissolo como mostra a tabela 1 e pelas pressões imprimidas pelos equipamentos formando assim o pé-de-arado ou pé-de-grade (CORTEZ et al., 2011).

Segundo Sene et al. (1985), os valores de RP apresentados nas camadas estudadas não são restritivos ao crescimento radicular, pois segundo os autores em solos arenosos os limites de RP para restrição ao crescimento radicular inicia-se a partir de 6,0 MPa.

Tabela 5. Resistência mecânica do solo à penetração do solo (MPa) em função dos sistemas de preparo nas camadas estudadas.

| Camadas m | Sistema de preparo (SP) | | | | | CV (%) |
|--------------|-------------------------|---------|--------|--------|----------|--------|
| | G24 | E | A | G22 | F | |
| 0,00 – 0,10 | 0,56 a | 0,57 a | 0,56 a | 0,57 a | 2,60 ns | 0,44 |
| 0,10 – 0,20 | 1,24 a | 0,57 b | 0,57 b | 1,59 a | 27,00 ** | 19,68 |
| 0,20 – 0,30 | 1,25 b | 0,57 b | 0,56 b | 2,59 a | 24,05 ** | 31,38 |
| 0,30 – 0,40 | 2,26 bc | 2,93 ab | 0,91 c | 4,28 a | 14,21 ** | 28,73 |
| 0,40 – 0,50 | 5,30 a | 3,94 a | 5,30 a | 3,61 a | 2,33 ns | 25,68 |

Médias seguidas de mesma letra minúscula LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; Grade G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m. CV: coeficiente de variação.

4.1.2.1 RP em perfil

Para a análise da resistência mecânica do solo à penetração (RP) em perfil avaliou-se o grau de dependência espacial por meio da regionalização dos pontos amostrados utilizando-se o método do semivariograma (Tabela 6). Observou-se que o modelo que melhor expressa o ajuste para o preparo do solo foi o esférico, devido a sua alta significância no que diz respeito ao coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,86 a 1,00.

O efeito pepita (Co) variou de 0,01 a 0,35 (Tabela 6) sendo um parâmetro importante do semivariograma por refletir o erro analítico indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro. Pode-se ainda observar que o efeito pepita (Co) para a G24 + E foi o menor valor encontrado, próximo de zero, imprimindo maior exatidão de estimativa do método da krigagem (VIEIRA, 2000). Segundo Zimback (2001) o avaliador da dependência espacial (ADE) é classificado como forte ao se apresentar acima de 0,75 e, nesse caso, variou de 0,90 a 0,99.

O alcance a (m) variou de 0,61-0,94 m (Tabela 6) entre os sistemas de preparo, afirmando que a malha amostrada deveria ter no mínimo 0,61 m entre os pontos. Os pontos amostrados experimentalmente foram de 0,15 m e estes poderiam ter sido de, no mínimo 0,61 m e no máximo de 0,94 m entre pontos amostrados horizontalmente.

Tabela 6. Dados do semivariograma para a resistência mecânica do solo à penetração (RP) para os sistemas de preparo (SP).

| | Modelo | Co | Co + C | a(m) | R ² | SQR | ADE | Classe |
|-----|----------|------|--------|------|----------------|-------------------------|------|--------|
| G24 | Esférico | 0,11 | 3,35 | 0,61 | 0,99 | 0,01 | 0,97 | Forte |
| E | Esférico | 0,01 | 5,13 | 0,75 | 0,91 | 1,02 | 0,99 | Forte |
| A | Esférico | 0,25 | 5,51 | 0,94 | 0,86 | 1,17 | 0,95 | Forte |
| G22 | Esférico | 0,35 | 3,48 | 0,57 | 1,00 | 7,51x 10 ⁻⁰⁶ | 0,90 | Forte |

Co = efeito pepita; Co + C = patamar; a = alcance; R²= coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos desvios; ADE = avaliador da dependência espacial. G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; Grade G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

Ao realizar a validação cruzada dos dados de RP reais com dados estimados (Tabela 7) pode-se verificar que os coeficientes angulares entre os preparos de solo apresentaram valores próximos de 1,0 mostrando-se satisfatório, uma vez que estes indicam uma relação próxima entre os valores estimados e os reais. Com exceção da E, onde os valores do coeficiente de determinação não se apresentaram elevados. Este parâmetro se mostra menos significativo que o coeficiente angular. Coelho et al. (2012) relatam que os resultados encontrados podem estar relacionados com o fato dos dados não seguirem uma distribuição normal, mesmo não sendo um parâmetro obrigatório poderia proporcionar melhores resultados estimados.

Tabela 7. Dados da validação cruzada para a resistência mecânica à penetração do solo (RP) para os sistemas de preparo do solo.

| Sistemas | R ² | A | B |
|----------|----------------|--------|------|
| G24 | 0,72 | - 0,02 | 1,01 |
| E | 0,84 | - 0,19 | 1,12 |
| A | 0,59 | - 0,10 | 1,12 |
| G22 | 0,70 | - 0,09 | 1,03 |

R²= coeficiente de determinação; A = intersecção; b = coeficiente angular. E: grade tandem+ escarificador; G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; Grade G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

Nos mapas de isolinhas (Figura 4) pode-se observar as diferenças dos preparos de solo nas distintas camadas do solo; além disso pode-se observar que as grades G24 e G22 apresentam zonas mais escuras (Figuras 4a e 4d) a partir da camada de 0,20 m; o que indica uma maior (RP), este fato pode ser observado na Tabela 5, devido a menor penetração dos órgãos ativos das grades *off set*.

Os preparos com E e A apresentaram faixas mais claras nas camadas de 0,00 a 0,30, indicando menor RP, isto devido a profundidade efetiva dos órgãos ativos dos equipamentos utilizados, fato este também verificado por Nagahama et al. (2013).

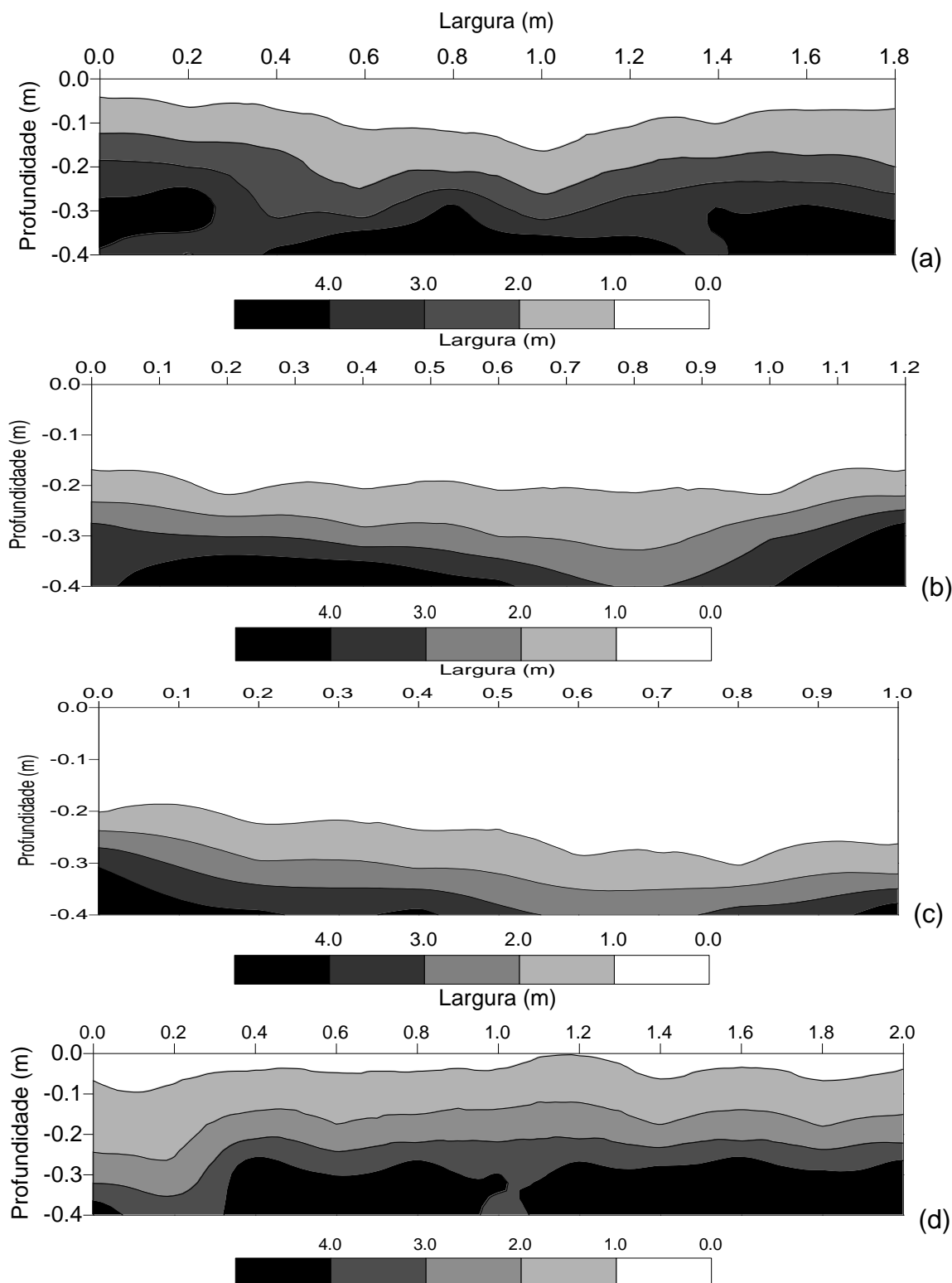


Figura 11. Mapas de isolinhas para resistência mecânica à penetração do solo (MPa) para os sistemas com da G24 (a), E (b), A (c), e G22 (d).

4.2 Variáveis do conjunto trator-equipamento

4.2.1 No preparo do solo

Avaliando o conjunto trator-equipamento durante o preparo do solo identifica-se diferença significativa na largura efetiva e na profundidade efetiva (Tabela 8).

As grades G24 e G22 apresentaram melhor resultado para largura efetiva enquanto que E e A apresentaram melhores resultados com relação a profundidade efetiva, visto que as grades off set são equipamentos com largura superior ao arado de aivecas e escarificador. Nagahama et al. (2013) trabalhando com escarificador, grades off-set e com arado de aivecas, encontraram diferenças significativas para largura e profundidade efetiva nos sistemas de preparo do solo.

Tabela 8. Largura, profundidade efetiva e capacidade de campo durante a operação de preparo do solo.

| Fatores | Largura efetiva | Profundidade efetiva | Capacidade de campo (ha h ⁻¹) | |
|--------------------|-----------------|----------------------|---|-------------|
| | | | Efetiva | Operacional |
| Sistema de Preparo | ----- m ----- | | Efetiva | Operacional |
| G24 | 1,55 a | 0,17 b | 0,94 a | 0,66 a |
| E | 0,69 b | 0,29 a | 0,37 b | 0,26 b |
| A | 0,68 b | 0,30 a | 0,36 b | 0,25 b |
| G22 | 1,73 a | 0,15 b | 1,08 a | 0,76 a |
| TESTE DE F | | | | |
| SP | 39,47 ** | 15,14 ** | 51,03 ** | 51,03 ** |
| CV (%) | 15,29 | 17,15 | 15,34 | 15,34 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

As capacidades de campo efetivas e operacionais diferiram estatisticamente entre si para os sistemas de preparo do solo (Tabela 8). Os trabalhos realizados com as G24 e com a G22 apresentam semelhança estatística e melhores valores com relação a A e E. Isto ocorre devido à maior largura de trabalho das grades influenciar positivamente na capacidade de campo, no caso do escarificador e arado apresentaram semelhança estatística entre eles e uma menor capacidade de campo, este ocorreu devido a menor largura de trabalho dos implementos. Segundo Bertolini e Gamero (2010), a largura e a velocidade são diretamente proporcionais à capacidade de campo, que vem a ser a quantidade de trabalho produzida por unidade de tempo.

A relação capacidade de campo efetiva e operacional está ligada a área trabalhada em relação ao tempo gasto nas operações em atividades agrícolas, mas a capacidade operacional apresenta valores menores, devido ao tempo envolvido nessa operação ser a soma dos tempos desde o preparo do conjunto mecanizado até os momentos de manobras (MIALHE, 1974).

A variação da velocidade de trabalho foi significativa (Tabela 9), observando-se a G22 com maior variação da velocidade em relação a E e A e não diferindo estatisticamente da G24, devido a largura de trabalho das grades ser maior que a do arado de aivecas e do escarificador. O rendimento de campo teórico não diferiu estatisticamente (Tabela 9), apresentando valores que indica o quanto esta sendo realmente utilizado dos órgãos ativos da máquina (MIALHE, 1974). A sobreposição dos órgãos ativos e a pequena área de manobra também influenciam negativamente no rendimento teórico, devido ao não estabelecimento do conjunto trator equipamento (ARALDI, 2011).

Tabela 9. Variação da velocidade, rendimento de campo, força de tração e potência estimadas durante a operação de preparo do solo.

| Fatores | Variação da velocidade | Rendimento de campo teórico | Força de tração estimada | Potência estimada |
|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| Sistema de Preparo | km h ⁻¹ | % | kN | kW |
| G24 | 2,66 ab | 71,85 a | 9,83 a | 30,27 ab |
| E | 3,37 a | 50,87 a | 7,33 a | 20,11 b |
| A | 3,29 a | 59,74 a | 7,44 a | 20,41 b |
| G22 | 2,40 b | 69,16 a | 10,12 a | 32,32 a |
| TESTE DE F | | | | |
| Sistema | 8,54 ** | 4,02ns | 3,05 ns | 6,19 * |
| CV | 11,06 | 15,16 | 19,78 | 20,03 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%).G24: grade off-set – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade off-set – discos de 0,56 m.

A força de tração não apresentou diferença significativa entre os preparos de solo (Tabela 9) e mesmo havendo variação significativa da velocidade de trabalho esta não influenciou. A potência estimada para os conjuntos mecanizados apresentou variação estatística, mostrando que a E e A exigem menor potência e que os valores utilizados para efeito de cálculo sugerem que os dados do escarificador e do arado apresentaram bastante proximidade da energia requerida para a execução do trabalho. Por outro lado, G22 e a G24 requerem uma maior potência para desenvolvimento das operações de preparo. Esta diferença pode ser justificada pela quantidade de órgãos ativos, profundidade de trabalho e largura

efetiva da máquina. No caso do arado e do escarificador, foi considerado apenas os dados destes equipamentos para a estimativa da força e potência.

4.2.2 Na semeadura

A profundidade efetiva de trabalho durante a semeadura não apresentou diferença significativa entre os sistemas de preparo de solo (Tabela 10). Não houve variação significativa entre a interação preparo de solo e velocidade de semeadora.

Avaliando a profundidade de deposição das sementes nas velocidades de trabalho, houve variação significativa entre os tratamentos, sendo que, o tratamento de 10,7 km h⁻¹ apresentou profundidade menor (0,04 m). Esse fato ocorreu devido ao tipo de semeadora empregado, a qual apresenta roda motriz na parte posterior da máquina, o que facilitou a flutuação da mesma. Segundo Weirich Neto (2007), uma das causas da variação da profundidade durante a semeadura é a irregularidade do terreno e a presença de restos de outras culturas, condições estas encontradas na área do trabalho.

Durante a semeadura, tanto a capacidade de campo efetiva e quanto a operacional não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de preparo do solo, entretanto para as velocidades observaram-se diferenças significativas (Tabela 10); sendo, as maiores capacidades de campo efetiva e operacional verificadas para a velocidade de 10,7 km h⁻¹. Conforme MIALHE (1974), quanto maior a velocidade de deslocamento, maior será a capacidade de campo efetiva e conseqüentemente a operacional; visto que não ocorreu variação no espaçamento entre fileiras de semeadura, variando-se apenas a velocidade de deslocamento da semeadora durante a operação de semeadura. A interação do preparo do solo com as velocidades de semeadura não apresentou diferença significativa para capacidade de campo efetiva e operacional durante a semeadura.

Pode-se observar que as maiores capacidades de campo efetiva e operacional foram encontradas para a velocidade de 10,7 km h⁻¹. Este fato ocorre devido à capacidade de campo efetiva ser relacionada diretamente com a velocidade a largura de trabalho da máquina, como não houve variação da largura de semeadura apenas variação da velocidade, inferindo-se que esta foi um fator que determinante para a capacidade de campo.

Tabela 10. Profundidade efetiva de trabalho e capacidade de campo na semeadura em função dos sistemas de preparo (SP) e velocidades de semeadura (VS).

| Fatores | Profundidade efetiva de semeadura (m) | Capacidade de campo (ha h ⁻¹) | |
|-------------------------|---------------------------------------|---|-------------|
| | | Efetiva | Operacional |
| Sistema de Preparo (SP) | | | |
| G24 | 0,05 a | 1,47 a | 1,03 a |
| E | 0,05 a | 1,49 a | 1,05 a |
| A | 0,05 a | 1,50 a | 1,05 a |
| G22 | 0,05 a | 1,48 a | 1,04 a |
| Velocidades (VS) | | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 0,05 a | 1,08 c | 0,75 c |
| 8,70 km h ⁻¹ | 0,05 a | 1,47 b | 1,03 b |
| 10,7 km h ⁻¹ | 0,04 b | 1,92 a | 1,34 a |
| TESTE DE F | | | |
| SP | 1,64 ns | 0,10 ns | 0,10 ns |
| VS | 10,12 ** | 123,13 ** | 123,13 ** |
| SP x VS | 0,74 ns | 1,45 ns | 1,45 ns |
| CV (SP) | 2,70 | 10,24 | 10,24 |
| CV (VS) | 3,54 | 10,15 | 10,15 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade off-set – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade off-set – discos de 0,56 m.

Estatisticamente não houve diferença na variação da velocidade durante a semeadura nos sistemas de preparo do solo, entretanto, nos tratamentos com velocidades de 8,7 e 10,7 km h⁻¹ verificaram-se as maiores variações. A interação não foi significativa (Tabela 11).

O rendimento de campo teórico não apresentou diferença estatística para semeadura nos sistemas de preparo do solo (Tabela 11); entretanto apresentou variação significativa para a velocidade. A velocidade de 5,10 km h⁻¹ apresentou aproveitamento do potencial da máquina 88% superior às demais velocidades. Segundo Mialhe (1974), isto implica que quanto menor for a capacidade de campo, maior será o rendimento de campo teórico, fato observado na Tabela 11. Com isso pode-se dizer que o aumento da velocidade tende a diminuir o rendimento de campo teórico. A interação entre a velocidade e sistemas de preparo do solo não foi significativa.

A força de tração não apresentou variação significativa na semeadura tanto para os sistemas de preparo quanto para a variação da velocidade, entretanto apresentou variação significativa na interação (Tabela 12).

A potência estimada não apresentou variação significativa na semeadura para os sistemas de preparo do solo. Enquanto que entre as velocidades apresentou

significância, sendo a velocidade de 5,10 km h⁻¹, a que demandou menor potência, uma vez que, a potência é igual a força multiplicada pela velocidade; ou seja, com o incremento da velocidade aumenta-se necessidade de potência (Tabela 11). Mahl et al. (2004) também encontraram valores maiores de potência para velocidades maiores.

Tabela 11. Variação da velocidade, rendimento de campo teórico, força de tração e potência estimadas na semeadura em função dos sistemas de preparo (SP) e velocidades de semeadura (VS).

| Fatores | Variação da velocidade | Rendimento de campo teórico | Força de tração | Potência na barra |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|
| Sistema de Preparo (SP) | km h ⁻¹ | % | kN | kW |
| G24 | 2,12 a | 77,53 a | 5,91 a | 18,16 a |
| E | 1,97 a | 78,19 a | 5,95 a | 18,71 a |
| A | 1,84 a | 76,77 a | 5,99 a | 19,33 a |
| G22 | 2,06 a | 78,35 a | 6,06 a | 18,85 a |
| Velocidades (VS) | | | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 0,81 b | 88,16 a | 5,90 a | 12,84 c |
| 8,70 km h ⁻¹ | 2,55 a | 70,35 b | 6,00 a | 18,74 b |
| 10,7 km h ⁻¹ | 2,64 a | 74,61 b | 6,03 a | 24,71 a |
| TESTE DE F | | | | |
| SP | 0,81 ns | 0,06 * | 1,36 ns | 1,66 ns |
| VS | 79,83 ** | 12,55 ** | 1,82 ns | 202,85 ** |
| SP x VS | 1,53 ns | 1,16 ns | 2,93 * | 2,41 ns |
| CV (SP) | 23,30 | 13,17 | 3,19 | 6,91 |
| CV (VS) | 23,09 | 13,51 | 3,41 | 8,88 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade off-set – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade off-set – discos de 0,56 m.

Para a velocidade de 5,10 km h⁻¹, pode-se observar que a G24 demandou maior força de tração (6,16 kN), mas não diferiu de G22 e A, enquanto que na velocidade de 8,70 km h⁻¹, a G22 que demandou maior força de tração (6,22 kN), mas não diferiu de E e A, isto provavelmente deve-se a largura de trabalho dos equipamentos (Tabela 12). Entretanto, na velocidade de 10,70 km h⁻¹, não houve diferença estatística entre os sistemas de preparo.

Na análise individual de cada preparo observa-se que somente a G24 apresentou diferença entre as velocidades de semeadura, sendo que na velocidade de 5,10 km h⁻¹ apresentou a maior força de tração (Tabela 12).

Tabela 12. Desdobramento da interação sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de semeadura (VS) para a força de tração.

| Sistema de Preparo | Velocidades (km h ⁻¹) | | |
|--------------------|-----------------------------------|----------|---------|
| | 5,10 | 8,70 | 10,70 |
| | Força de tração (kN) | | |
| G24 | 6,16 aA | 5,77 bB | 5,79 aB |
| E | 5,78 bA | 6,05 abA | 6,02 aA |
| A | 6,06 abA | 6,08 abA | 5,83 aA |
| G22 | 5,99 abA | 6,22 aA | 5,96 aA |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

4.3 Características agronômicas da planta de milho

A distribuição longitudinal de plântulas apresenta maior quantidade de espaçamentos normais, seguido dos espaçamentos múltiplos e por fim dos espaçamentos falhos (Tabela 13). Os mesmos não sofreram variação significativa entre os sistemas de preparo do solo. Com a variação da velocidade os espaçamentos normais não sofreram variação significativa, enquanto que os múltiplos apresentaram uma porcentagem maior para a velocidade de 5,10 km⁻¹.

Os espaçamentos falhos apresentaram maior porcentagem para as velocidades maiores (8,70 e de 10,7 km⁻¹). A maior quantidade de falhos está associada a velocidade de semeadura, fazendo com que o disco alveolado gire mais rápido dificultando o preenchimento dos alvéolos pela semente, aumentando a quantidade de espaçamentos falhos. Já na menor velocidade, como há mais tempo para o preenchimento do alvéolo, duas sementes podem ficar alojadas no orifício. Este resultado é semelhante aos encontrados por Kurachi et al. (1989); Fey et al. (2000) e Garcia et al. (2006), em que o incremento da velocidade de semeadura diminui a eficiência na distribuição das sementes. Em contrapartida este resultado diverge dos encontrados por Jung et al. (2009).

Tabela 13. Percentual de espaçamentos correspondentes às classes: normais, múltiplos e falhos em função dos sistemas de preparo (SP) e velocidades de semeadura (VS).

| Fatores | Normais | Múltiplos | Falhos |
|-------------------------|---------|-----------|---------|
| Sistema de Preparo (SP) | % | % | % |
| G24 | 47,49 a | 31,10 a | 21,40 a |
| E | 46,18 a | 34,43 a | 19,38 a |
| A | 49,80 a | 29,64 a | 20,55 a |
| G22 | 37,93 a | 41,37 a | 20,69 a |
| Velocidades (VS) | | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 46,18 a | 41,65 a | 12,17 b |
| 8,70 km h ⁻¹ | 40,03 a | 34,79 ab | 25,19 a |
| 10,7 km h ⁻¹ | 49,87 a | 25,96 b | 24,17 a |
| TESTE DE F | | | |
| SP | 1,97 ns | 0,99 ns | 0,03 ns |
| VS | 2,31 ns | 6,91 ** | 5,46 * |
| SP x VS | 1,40 ns | 1,65 ns | 1,29 ns |
| CV (SP) | 28,12 | 53,17 | 84,34 |
| CV (VS) | 28,85 | 35,04 | 60,42 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

O número de dias para emergência não foi influenciado significativamente pelo preparo do solo nem pela variação da velocidade de semeadura. Provavelmente os preparos do solo promoveram acomodação regular disponibilizando umidade e temperatura similares, e favoreceram a uniformidade de emergência (Tabela 14).

Tabela 14. Número de dias para emergência de plântulas e estande de plantas em função dos sistemas de preparo e velocidade de semeadura.

| Fatores | Número de dias para emergência (dias) | Estande de plantas (plantas por metro) |
|-------------------------|---------------------------------------|--|
| Sistema de Preparo (SP) | | |
| G24 | 9,56 a | 5,04 a |
| E | 9,55 a | 5,79 a |
| A | 9,62 a | 5,34 a |
| G22 | 10,75 a | 5,54 a |
| Velocidades (VD) | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 9,27 a | 6,15 a |
| 8,70 km h ⁻¹ | 10,21 a | 5,15 ab |
| 10,7 km h ⁻¹ | 10,10 a | 4,97 b |
| TESTE DE F | | |
| SP | 1,21 ns | 0,36 ns |
| VS | 0,75 ns | 4,94 * |
| SP x VS | 0,98 ns | 2,49 ns |
| CV (S) | 19,02 | 33,81 |
| CV (VD) | 24,26 | 21,17 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

O estande de plantas não foi influenciado pelos sistemas de preparo do solo, no entanto apresentou diferença significativa para as velocidades de semeadura, sendo a velocidade de 5,10 km h⁻¹, a que apresentou o melhor estande. Segundo Garcia et al. (2006) mesmo com a variação da velocidade, é mantida a população de plantas. Isto não ocorreu neste experimento e pode ser relacionado ainda com a quantidade de espaçamentos falhos (Tabela 13), em que o incremento da velocidade aumenta a quantidade de falhos, diminuindo o estande de plantas. Provavelmente isto tenha ocorrido devido à flutuação da roda motriz da semeadora, e Garcia et al. (2011) atribuem este fato ao efeito da patinação da roda motriz da semeadora.

Ao se observar o período de crescimento da planta foi possível identificar que a altura de planta apresentou variação significativa para os sistemas de preparo do solo apenas no período de 30 dias após a semeadura, sendo o A com a maior altura de plantas no período (Tabela 15). Para as velocidades de semeadura pode-se observar que com o incremento da velocidade é possível identificar nas velocidades de 5,10 e 10,7 km⁻¹, os melhores resultados para a altura de plantas aos 60 dias após a semeadura. Enquanto que para a interação entre o preparo de solo e variação da velocidade para altura de planta, não houve diferença significativa.

Tabela 15. Altura de planta (AP) aos 30, 60 e 90 dias após semeadura e diâmetro de colmo (DC) em função dos sistemas de preparos (SP) e velocidade de semeadura (VD).

| Fatores | AP (30) | AP (60) | AP (90) | DC |
|-------------------------|----------|---------|---------|---------|
| Sistema de Preparo (SP) | (m) | (m) | (m) | (cm) |
| G24 | 0,42 bc | 1,56 a | 1,59 a | 2,14 a |
| E | 0,48 ab | 1,72 a | 1,75 a | 2,21 a |
| A | 0,52 a | 1,81 a | 1,83 a | 2,21 a |
| G22 | 0,37 c | 1,67 a | 1,71 a | 2,21 a |
| Velocidades (VS) | | | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 0,43 a | 1,78 a | 1,80 a | 2,20 a |
| 8,70 km h ⁻¹ | 0,47 a | 1,54 b | 1,61 b | 2,18 a |
| 10,7 km h ⁻¹ | 0,45 a | 1,75 a | 1,75 ab | 2,22 a |
| TESTE DE F | | | | |
| SP | 11,03 ** | 1,76 ns | 1,34 ns | 0,34 ns |
| VS | 1,01 ns | 7,29 ** | 4,90 * | 0,14 ns |
| SP x VS | 0,54 ns | 0,39 ns | 0,36 ns | 0,16 ns |
| CV (SP) | 14,69 | 15,76 | 17,59 | 12,47 |
| CV (VS) | 16,97 | 11,57 | 10,16 | 9,59 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade off-set – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade off-set – discos de 0,56 m.

O diâmetro de colmo se manteve sem variação significativa para os sistemas de preparo, para a velocidade e para a interação (Tabela 15). Também Bertolini et al.(2006) em estudo com um milho híbrido simples 2B710 não encontrou variação significativa em estudo com tipos de preparo do solo para o diâmetro do milho.

Não houve variação estatística na quantidade de espigas viáveis e na altura da inserção da primeira espiga para os sistemas de preparo do solo (Tabela 16). Relacionando com os resultados de altura de planta aos 60 e 90 dias (Tabela 15) (fase de desenvolvimento das espigas) nota-se que não há tendência de aumento da altura da inserção da primeira espiga, pois também não houve variação na altura de planta. Resultados semelhantes foram encontrados por Bertolini et al. (2006) em cultivo de milho com diferentes sistemas de manejos de solo. Contudo, as velocidades de semeadura apresentaram variação significativa, sendo que a velocidade de 8,70 km h⁻¹ apresentou os maiores valores de espigas viáveis e as velocidades de 5,10 e 10,70 km h⁻¹ os maiores valores de altura de inserção da primeira espiga, este fato ocorreu provavelmente devido a altura de planta para estas velocidades, principalmente durante a fase inicial de desenvolvimento da espiga (60 dias após semeadura).

Tabela 16. Quantidade de espigas viáveis por dois metros e altura de inserção da primeira espiga em função dos sistemas de preparo do solo (SP) e velocidades de semeadura (VS).

| Fatores | Espigas viáveis (2 m) | Altura de inserção da primeira espiga (m) |
|-------------------------|--------------------------|--|
| Sistema de Preparo (SP) | | |
| G24 | 4,17 a | 0,81 a |
| E | 5,25 a | 0,89 a |
| A | 5,83 a | 0,98 a |
| G22 | 4,67 a | 0,92 a |
| Velocidades (VS) | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 4,25 b | 0,94 a |
| 8,70 km h ⁻¹ | 5,81 a | 0,80 b |
| 10,7 km h ⁻¹ | 4,87 ab | 0,96 a |
| TESTE DE F | | |
| SP | 1,36 ns | 1,46 ns |
| VS | 3,54 * | 5,38 * |
| SP x VS | 1,03 ns | 1,05 ns |
| CV (SP) | 43,05 | 22,70 |
| CV (VS) | 33,56 | 16,00 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%).G24: grade off-set – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22:grade off-set – discos de 0,56 m.

Segundo Pereira et al. (2009) a variável comprimento de espiga é um dos principais indicadores de produtividade da cultura do milho. O comprimento, o diâmetro, a quantidade de fileiras e a quantidade de grãos por fileiras das espigas não diferiram estatisticamente entre os preparos do solo (Tabela 17). Entretanto o comprimento da espiga, o diâmetro e a quantidade de grãos por espiga foram influenciados significativamente pelas velocidades, apresentando as maiores espigas, os maiores diâmetros e a maior quantidade de grãos para a velocidade de semeadura de 8,70 km h⁻¹. Em contradição ao trabalho de Jung et al. (2009) ao compararem o desempenho de duas semeadoras adubadoras em velocidades, os mesmos não encontraram diferença significativa para a quantidade de linhas, para a quantidade de fileiras e para a quantidade grãos por fileira entre as velocidade estudadas. A interação entre sistema de preparo do solo e velocidade na semeadura apresentou diferenças significativas para a quantidade de fileiras de grãos.

Tabela 17. Comprimento, diâmetro, quantidade de fileiras e quantidade de grãos da espiga do milho em função dos sistemas de preparo e velocidade de semeadura.

| Fatores | Comprimento | Diâmetro | Qt. fileiras | Qt. Grãos |
|-------------------------|-------------|----------|--------------|-----------|
| Sistema de Preparo (SP) | (cm) | (cm) | | |
| G24 | 14,89 a | 3,63 a | 14,47 a | 33,36 a |
| E | 15,16 a | 3,65 a | 14,26 a | 33,56 a |
| A | 15,32 a | 3,67 a | 14,26 a | 33,41 a |
| G22 | 15,25 a | 3,75 a | 14,67 a | 34,50 a |
| Velocidades (VS) | | | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 15,22 ab | 3,68 ab | 14,27 b | 34,26 a |
| 8,70 km h ⁻¹ | 15,60 a | 3,76 a | 14,70 a | 35,27 a |
| 10,7 km h ⁻¹ | 14,64 b | 3,58 b | 14,27 b | 31,56 b |
| TESTE DE F | | | | |
| SP | 0,41 ns | 1,09 ns | 1,47 ns | 0,24 ns |
| VS | 4,26 * | 6,51 ** | 10,91 ** | 10,29 ** |
| SP x VS | 0,20 ns | 1,76 ns | 3,94 ** | 0,69 ns |
| CV (SP) | 6,64 | 5,09 | 3,86 | 11,42 |
| CV (VS) | 6,18 | 3,91 | 2,10 | 7,10 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade off-set – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade off-set – discos de 0,56 m.

Analisando a interação entre preparo e velocidade de semeadura no que diz respeito a quantidade de fileiras em cada espiga, identifica-se que para a velocidade de 8,70 km h⁻¹ o A apresentou a menor quantidades de fileiras por espiga, as demais velocidades não diferiram nos sistemas (Tabela 18). Analisando cada preparo individualmente, G24 e A na velocidade de 10,70 km h⁻¹ apresentaram a maior

quantidade de fileiras; G22 não diferiu entre as velocidades; e E apresentou a maior quantidade de fileiras na velocidade de 8,70 km h⁻¹.

Tabela 18. Desdobramento da interação sistemas de preparo e velocidade de semeadura para a quantidade de fileiras na espiga.

| Sistema de Preparo | Quantidade de fileiras | | |
|--------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| | Velocidades (km h ⁻¹) | | |
| | 5,10 | 8,70 | 10,70 |
| G24 | 14,56 aAB | 14,37 abB | 15,06 aA |
| E | 14,09 aB | 14,75 aA | 14,56 aAB |
| A | 14,19 aB | 13,78 bB | 14,81 aA |
| G22 | 14,25 aA | 14,16 abA | 14,37 aA |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na COLUNA e maiúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste de TUKEY a 5% de probabilidade. G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

A massa de 100 grãos, a massa seca de plantas, a produtividade e o índice de colheita do milho para sistemas de preparo não apresentou diferença estatística (Tabela 19). A variação da velocidade não inferiu variação significativa para a massa de 100 grãos e para a massa seca de plantas.

Tabela 19. Massa de 100 grãos, massa seca de plantas, produtividade e índice de colheita do milho para sistemas de preparo e velocidade de semeadura.

| Fatores | Massa de 100 grãos | Massa seca de planta | Produtividade | Índice de colheita |
|-------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | (g) | (Mg ha ⁻¹) | (kg ha ⁻¹) | (%) |
| Sistema (SP) | | | | |
| G24 | 20,57 a | 14,79 a | 1864,61 a | 11,64 a |
| E | 22,15 a | 14,23 a | 2267,51 a | 15,56 a |
| A | 21,32 a | 15,07 a | 2638,34 a | 17,83 a |
| G22 | 22,81 a | 13,63 a | 2236,12 a | 16,53 a |
| Velocidades (VS) | | | | |
| 5,10 km h ⁻¹ | 22,18 a | 15,08 a | 1946,85 b | 13,10 b |
| 8,70 km h ⁻¹ | 21,82 a | 15,25 a | 2852,92 a | 18,86 a |
| 10,7 km h ⁻¹ | 21,14 a | 12,94 a | 1955,17 b | 14,21 ab |
| TESTE DE F | | | | |
| SP | 1,04 ns | 0,19 ns | 0,79 ns | 2,02 ns |
| VS | 0,78 ns | 2,11 ns | 5,61 * | 3,99 * |
| SP x VS | 2,12 ns | 0,55 ns | 0,97 ns | 1,73 ns |
| CV (S) | 15,30 | 34,95 | 54,40 | 42,28 |
| CV (VD) | 10,97 | 24,55 | 39,06 | 39,72 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%). G24: grade *off-set* – discos de 0,61 m; E: escarificador; A: arado de aivecas; G22: grade *off-set* – discos de 0,56 m.

A produtividade e o índice de colheita foram estatisticamente significativos para variação da velocidade, sendo que na velocidade de 8,70 km h⁻¹, obtiveram-se maiores produtividade e índice de colheita. Isto por ser explicado pelos valores do comprimento, do diâmetro, a quantidade de fileiras e a quantidade de grãos por

fileiras (Tabela 17) que na velocidade de 8,70 km h⁻¹ apresentaram os maiores resultados, refletindo diretamente na produtividade para esta velocidade.

O maior índice de colheita foi para a velocidade de 8,70 km h⁻¹, o que segundo Martins e Costa (2003) indica a eficiência que a planta tem em converter a produção total de fitomassa acima do solo em produção total da parte colhida e economicamente viável da cultura. Conforme Demétrio et al. (2008), os valores de ideais do índice de colheita para o milho seria de 50 e 60%. Valores inferiores foram encontrados nesse trabalho.

5 CONCLUSÕES

A densidade e a porosidade do Argissolo Amarelo não foram influenciadas pelos sistemas de preparo do solo. No entanto, o arado de aivecas apresentou a menor resistência à penetração nas camadas estudadas.

As maiores capacidades de campo foram apresentadas pelas grades G24 e G22. O rendimento de campo teórico médio foi de 63% e a força de tração exigida na barra de tração para o preparo não foi maior que 10,12 kN.

O milho apresentou maior produtividade para a velocidade de 8,70 km h⁻¹, não havendo diferença estatística para os sistemas de preparo do solo.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 04:015.06-004 - semeadoras de precisão: ensaio de laboratório - método de ensaio**. São Paulo, 1984. 26 p

ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; NEVES, J.C.L.; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.131-138, 2004.

AMARAL, F. C. S.; SILVA, E. F.; MELO, A. S. **Caracterização pedológica e estudos de infiltração da água no solo em perímetros irrigados no Vale do São Francisco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 104p.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **ASAE EP291.1: standards engineering practices data**. St. Joseph: ASAE, 1997. p.254-75.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo, Editora Manole LTDA, 1987. 310p.

BERTOLINE, E. V.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.. Desempenho da cultura do milho em diferentes manejo do solo sobre cobertura vegetal de nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v.21, n.1, p.34-49, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: SUDENE, 1973. 354 p (SUDENE. Boletim técnico nº 26).

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

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico nº 106).

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.

CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R. P.; CENTURION, J. F.; CARVALHO, L. C. C.; LOPES, A. Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba – MG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.317-325, 2007.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CAMARGO, E.C.G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. São José dos Campos, 1997. 123p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Chieza, E. D.; Lovato, T.; Araújo, E. S.; Tonin, J. Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 37,p1393-1401, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2013/14 – terceiro Levantamento – dezembro de /2013**.

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 4ª aproximação**, Lavras: 1989. 176p.

COELHO, D. S; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N.. Variabilidade espacial da resistência Mecânica à penetração em vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, vol.36, 2012.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas

semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-537, 2003.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.43, n.12, p. 1691-1697, 2008.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DIAS, V. O.; ALONÇO, A. S; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1721-1728, 2009

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. L. The effects of temperature, sand and soil acetone on germination of okra seed. **Proceeding of American Society Horticulture Science**, Alexandria, v. 71, n. 2, p. 428-434, 1958.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: 2006. 370p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **BRS 1055 – Híbrido Simples de Milho**, comunicado técnico nº 176, Sete Lagoas, MG, 2009.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A. Demanda energética e produtividade da cultura do milho com adubação de pré-semeadura em dois sistemas de manejo do solo. **Revista energia na agricultura**. Botucatu. Vol.25,n3, p.01-23, 2010.

FEITOSA, J. R; OLSZEVKI, N.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. DE J. Variáveis físicas de argissolo amarelo do semiárido nordestino em função das operações de preparo periódico. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.21 n.5, p 456-464, 2013.

FEY, E.; SANTOS, S. R.; FEY, A. Influência da velocidade de semeadura sobre a produtividade de milho (*Zea mays*L.). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 29., 2000, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: SBEA.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. da. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.458-464, 2005.

GARCIA, L. C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A. J.; BLUM, J. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.520-527, 2006.

GARCIA, R.F.; DO VALE, W.G.; DE OLIVEIRA, M.T.R.; PEREIRA, É.M.; AMIM, R.T.; BRAGA, T.C. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de umasemeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.33, p.417-422, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levant. Sistem. Prod. Agríc.** Rio de Janeiro v.26 n.10 p.1-80 outubro. 2013

JUNG, R.; TAVARES, C. A.; GRIGGIO, A.; OLIVEIRA, L. G de.; DELAI, M.; HISTER, J.; SILVA, S. DE L. Avaliação da produtividade do milho em função dos sistemas de semeadura e velocidades de deslocamento. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.2, p.158-164, 2009.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.959-964, 2000.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M.. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento e dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v.48, n.2, p.249-262, 1989.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226p. (Ciência e tecnologia).

MARTINS, P.E.; COSTA, A.J.A. Comportamento de um milho híbrido hiper precoce em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.12, p.77-88, 2003.

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; LEITE, M.A.S.; SILVA, A.R.B.; PONTES, J.R.V.; MARQUES, J.P.; GREGO, C.R.; COSTA, A.M. Distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função da velocidade e mecanismo sulcador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu**: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

REIS, A.V.; ALONÇO, A.S. Comparativo sobre a precisão funcional de vários mecanismos dosadores estudados no Brasil entre os anos de 1989 e 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais... Foz do Iguaçu**: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; FURLANI, CARLOS E. A.; SILVA, ANTÔNIO R. B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.150-157, 2004.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. 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**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 563-567, 2003.

MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 135-143, 1999.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo, Editora Agrônômica Ceres LTDA, 1974. 301p.

MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios e certificações. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia - Departamento de Plantas de Lavoura, 2005. 51 p.

NAGAHAMA, H. DE J.; CORTEZ, J. W.; PIMENTA, W. A.; PATROCÍNIO FILHO, A. P.; SOUZA, E. B. Desempenho do conjunto trator-equipamento em sistemas de preparo periódico no argissolo amarelo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n.2, p.79-89, 2013.

OLIVEIRA, M. D. M. **Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota**. 2000. 150 F. (Dissertação) Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000.

PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, A. C. Desempenho de mecanismos dosadores de semente em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, p. 611-617, 2008.

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

RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C.; NASCIMENTO, F. M.; GAMERO, C. A.; BICUDO, S. J. Caracterização física do solo e desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1813-1824, 2011.

Pereira, R. G.; Albuquerque, A. W.; Cavalcante, M.; Paixão, S. L.; Maracajá, P. B. Influência dos sistemas de manejo do solo sobre os componentes de produção do milho e *brachiaria decumbens*. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.64-71, 2009.

SENE, M.; VEPRASKAS, M. J.; NADERMAN, G. C.; DENTON, H. P. Relationship of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 422-427, 1985.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; BAYER, J. A. A. C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SILVA, A.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba,

1988, 105f. (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba.

SILVA, J. R.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 7-12, 2000.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-2245, 2006.

STOLF, R. Fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em força/unidade de área. In: congresso brasileiro de engenharia agrícola, 19, 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1990. Vol. II, p. 823-37.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J. ; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar – STOLF. **STAB**, Piracicaba, v1, n.3, p.18-23, 1983.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n4, p.835-841, 2000.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., eds. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 1-53.

WEIRICH NETO, P. H.; SCHIMANDEIRO, A.; GIMENEZ, L. M.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W. Profundidade de deposição de semente de milho na região dos Campos Gerais, Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27 n.3, p.782-786, 2007.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Doutorado em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Universidade estadual Paulista, Botucatu, 2001.