

Aspectos ambientais e qualidade de semeadura em diferentes arranjos espaciais de plantas na cultura da soja



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 383

Aspectos ambientais e qualidade de semeadura em diferentes arranjos espaciais de plantas na cultura da soja

*Henrique Debiasi
Julio Cezar Franchini
Alvadi Antonio Balbinot Junior
Sergio de Oliveira Procópio
Osmar Conte*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta

Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR

Fone: (43) 3371 6000

Fax: (43) 3371 6100

www.embrapa.br/soja

<https://www.embrapa.br/fale-conosco>

Comitê de Publicações da Embrapa Soja

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretária-Executiva: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliâne Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi.*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall’Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Marisa Yuri Horikawa*

Capa: *Marisa Yuri Horikawa*

Fotos da Capa: *Alvadi Antonio Balbinot Junior*

1ª edição

PDF digitalizado: 2017

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Aspectos ambientais e qualidade de semeadura em diferentes arranjos espaciais de plantas na cultura da soja [recurso eletrônico]: / Henrique Debiasi... [et al]. – Londrina: Embrapa Soja, 2017.

89 p. il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; 383).

1.Soja-Semeadura. I.Debiasi, Henrique. II.Franchini, Julio Cezar. III.Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III.Procópio, Sergio de Oliveira. IV.Conte, Osmar. V.Título. VI.Série.

CDD 633.34 (21.ed.)

© Embrapa 2017

Autores

Henrique Debiasi

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Soja
Londrina, PR

Julio Cezar Franchini

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Soja
Londrina, PR

Alvadi Antonio Balbinot Junior

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Soja
Londrina, PR

Sergio de Oliveira Procópio

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE

Osmar Conte

Engenheiro Agrônomo, Dr.
Pesquisador da Embrapa Soja
Londrina, PR

Apresentação

Nas últimas duas décadas, o Brasil apresentou elevado crescimento de área cultivada e produtividade da soja, resultando em incremento significativo na produção. O aumento da produtividade ocorreu em função do melhoramento genético e do uso de práticas inovadoras de manejo do solo e da cultura. Dentre as práticas de manejo, o ajuste do arranjo espacial de plantas pode influenciar na produtividade da soja, nos custos de produção e, conseqüentemente, na rentabilidade da cultura.

Na literatura há vários trabalhos que apresentam informações sobre o efeito do espaçamento entre as fileiras e densidade de semeadura sobre o crescimento das plantas de soja, produtividade de grãos e componentes de rendimento. No entanto, além dessas variáveis é importante realizar uma análise mais profunda sobre os efeitos dessas práticas sobre a qualidade do solo e sobre o sistema de produção como um todo.

O presente trabalho apresenta informações inéditas sobre os impactos de diferentes espaçamentos entre as fileiras sobre a plantabilidade da soja e sobre a qualidade do solo, contribuindo para a indicação de sistemas de semeadura que propiciem vantagens no curto e no longo prazo.

Ricardo Vilela Abdelnoor

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Soja

Sumário

Introdução.....	9
Protocolo experimental.....	11
Efeitos sobre a qualidade estrutural do solo	17
Efeitos sobre os estoques de carbono orgânico do solo e emissões de C-CO ₂ para a atmosfera	23
Efeitos sobre a cobertura do solo em sistema plantio direto	27
Efeitos sobre a suscetibilidade do solo à erosão hídrica ..	31
Efeitos sobre a qualidade de semeadura	32
Considerações finais	42
Referências	43

Aspectos ambientais e qualidade de sementeira em diferentes arranjos espaciais de plantas na cultura da soja

Henrique Debiasi

Julio Cezar Franchini

Alvadi Antonio Balbinot Junior

Sergio de Oliveira Procópio

Osmar Conte

Introdução

O arranjo espacial de plantas, determinado pelo espaçamento entre as fileiras e pela densidade de plantas, afeta a competição intraespecífica e, conseqüentemente, a disponibilidade de recursos do ambiente (água, luz e nutrientes) para cada indivíduo, podendo influenciar o crescimento das plantas (Balbinot Junior et al., 2016) e o desempenho agrônomico das culturas (Rambo et al., 2004; Walker et al., 2010; Procópio et al., 2013; Procópio et al., 2014; Balbinot Junior et al., 2015a; Balbinot Junior et al., 2015b; Ferreira et al., 2016; Werner et al., 2016). Sob o ponto de vista operacional, a alteração no arranjo espacial exige modificações na disposição das linhas de sementeira (sistema “cruzado”), no número de linhas por área cultivada e/ou na razão de sementeira (número de sementes por metro de linha). Essas alterações podem resultar em impactos (positivos ou negativos) sobre o ambiente e também sobre a qualidade da sementeira das culturas.

Entre outros efeitos, a disposição e o número de linhas de sementeira por área podem influenciar a intensidade dos processos erosivos, a estrutura do solo, a taxa de mineralização da matéria orgânica e o

consumo de combustível, afetando assim as emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), especialmente CO₂. Em áreas manejadas sob sistema plantio direto (SPD), o espaçamento entre as linhas de semeadura constitui-se em fator determinante do fluxo de palha entre os mecanismos sulcadores da semeadora, podendo deste modo influenciar o rendimento operacional e a quantidade e uniformidade de distribuição de plantas emergidas. Por outro lado, o cruzamento das linhas implica na realização de dois tráfegos do conjunto trator + semeadora, o que pode impactar negativamente na qualidade estrutural do solo. Adicionalmente, a variação na razão de semeadura requer alterações no tipo e/ou na velocidade dos mecanismos dosadores de sementes, o que pode comprometer a uniformidade de distribuição das sementes e o estabelecimento da densidade de plantas desejada.

Apesar da relevância do tema, os efeitos do arranjo espacial de plantas de soja sobre aspectos ambientais e a qualidade de semeadura têm sido muito pouco estudados. Assim, esse documento baseia-se principalmente nos resultados obtidos em experimento de campo realizado em Londrina, PR, como parte das atividades previstas no projeto “Novos sistemas de semeadura e arranjos de plantas para aumento da produtividade e sustentabilidade da cultura da soja”, coordenado pela Embrapa Soja. A metodologia deste experimento é resumidamente descrita no item 2.

Protocolo experimental

O ensaio foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina, PR (23°12' S e 51°10' O, 570 m de altitude média), durante as safras 2012/13, 2013/14 e 2014/15, sobre um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso (787, 168 e 45g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente). O clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido), segundo a classificação de Köppen. A declividade média da área experimental é de 0,07 m m⁻¹. Os dados de precipitação pluvial e de temperatura média do ar durante o ciclo da soja nas três safras avaliadas são apresentados na Figura 1.

A área experimental foi dividida em quatro parcelas de 15 m de largura x 65 m de comprimento (área total de 975 m²), com espaçamento de 18 m entre si, visando proporcionar espaço suficiente para manobras do conjunto trator + semeadora. Cada uma das parcelas foi ocupada por um dos seguintes arranjos espaciais de plantas na cultura da soja (Figura 2): 1) "Padrão": fileiras simples com espaçamento de 0,4 m na safra 2012/13 e 0,5 m nas safras 2013/14 e 2014/15, estabelecidas em sentido perpendicular ao declive da área; 2) "Cruzado": semeadura da cultura da soja em duas operações perpendiculares entre si, com linhas simples espaçadas 0,4 m (2012/13) ou 0,5 m (2013/14 e 2014/15). A primeira passada da semeadora foi realizada no sentido de declive, enquanto que a segunda foi em nível; 3) "Fileira dupla em nível": intercalando linhas espaçadas 0,2 m e 0,4 m em 2012/13, ou 0,25 m e 0,75 m nas demais safras; e 4) "Espaçamento reduzido": fileiras simples estabelecidas em nível, com espaçamento de 0,20 m (2012/13) ou 0,25 m (2013/14). Em todas as safras, a razão de semeadura foi ajustada de acordo com o espaçamento entrelinhas, visando à obtenção da mesma densidade de plantas em todos os tratamentos, equivalentes a 450 mil plantas ha⁻¹ (2012/13) e 300 mil plantas ha⁻¹ (2013/14 e 2014/15). No caso do sistema "cruzado", cada operação de semeadura distribuiu metade das sementes necessárias à obtenção da densidade de plantas desejada.

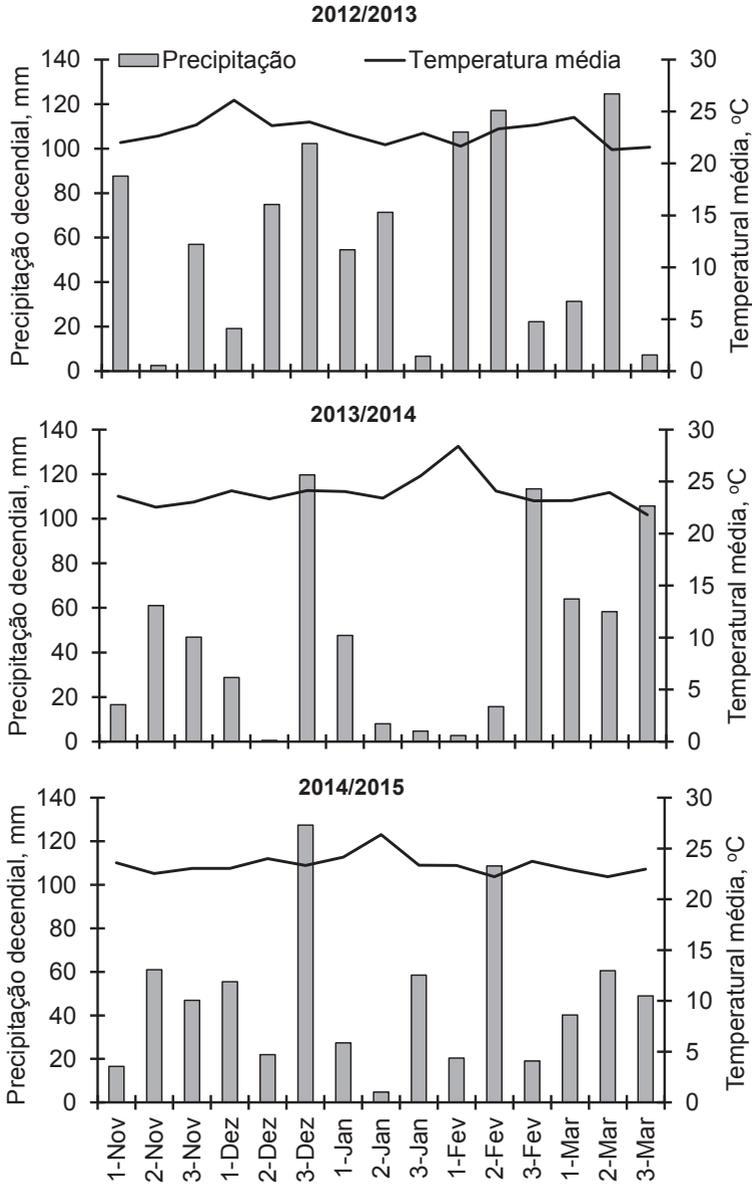


Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar por decêndio durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja, nas safras 2012/13, 2013/14 e 2014/15. Embrapa Soja, Londrina, PR.

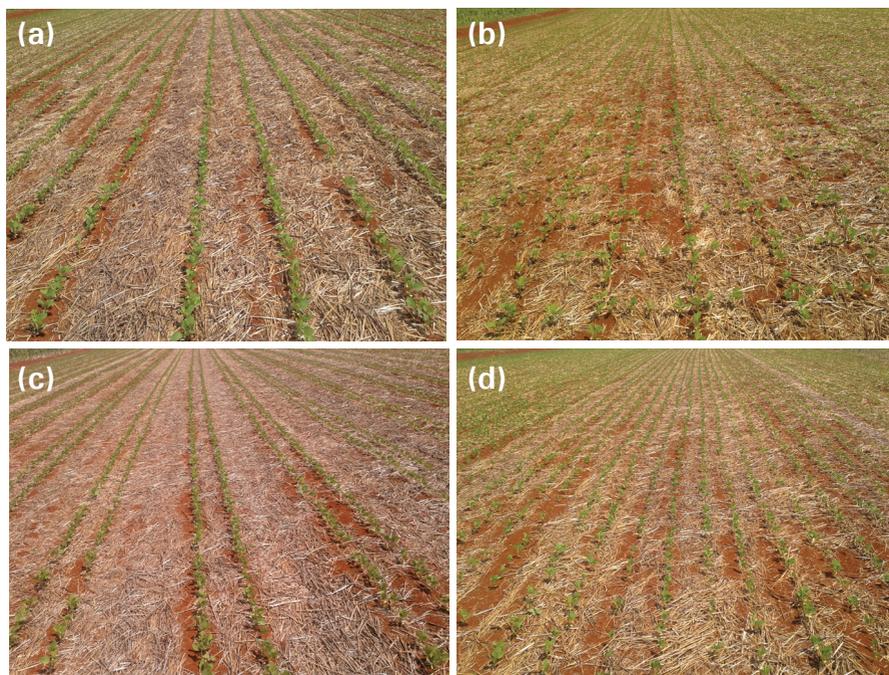


Figura 2. Aspecto visual dos arranjos de plantas avaliados na safra 2014/15: “padrão” (a), “cruzado” (b), “fileira dupla” (c) e “espaçamento reduzido” (d). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Em todas as safras avaliadas, a soja foi semeada sobre palhada de aveia-preta, manejada mecanicamente com rolo-faca na fase de pleno florescimento. O manejo pré-semeadura da área envolveu ainda o controle de plantas daninhas por meio da aplicação do herbicida glifosato ($1,44 \text{ kg e. a. ha}^{-1}$) aos 10 dias antes da semeadura da soja. Na safra 2012/13, a semeadura da soja (BRS 360 RR) foi realizada em 22/11/2012, por meio de semeadora equipada apenas com sulcadores para a deposição de sementes, do tipo disco duplo desencontrado, sem disco de corte de palha. Foram utilizadas 11 linhas para os sistemas “padrão” e “cruzado”, 16 linhas (8 linhas duplas) para o sistema “fileira dupla”, e 23 linhas para o tratamento “espaçamento reduzido”. O dosador de sementes foi do tipo disco horizontal perfurado de acionamento mecânico pelo rodado da semeadora. A adubação foi realizada a lança

imediatamente antes da sementeira, com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de formulado NPK 0-20-20. Nas safras seguintes (2013/14 e 2014/15), a soja (BRS 359 RR) foi semeada em 7/11/13 e 02/12/14, por meio de um protótipo de sementeira-adubadora adaptada à sementeira em espaçamento reduzido, equipada com discos de corte de palha e sulcadores para deposição de adubo e semente do tipo disco duplo desencontrado, e mecanismos dosadores de fertilizante e semente do tipo rosca sem-fim e disco perfurado, respectivamente, ambos acionados por meio de motores hidráulicos independentes, controlados eletronicamente. Em ambas as safras, foram utilizadas 8 linhas para os sistemas “padrão”, “cruzado” e “fileira dupla” (neste caso, 4 linhas duplas), e 17 linhas para o tratamento “espaçamento reduzido”. A adubação de base foi realizada em linhas, simultaneamente à sementeira, por meio da aplicação de 400 kg ha⁻¹ de formulado NPK 0-20-20. O fertilizante foi aplicado a aproximadamente 0,05 m abaixo da semente. Nas três safras, os demais tratos culturais e tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as indicações técnicas para a cultura na região (TECNOLOGIAS..., 2011; 2013).

Antes do início do experimento (outubro/2012) e após a colheita da soja nas safras 2013/14 e 2014/15 (abril de 2014 e 2015), amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas nas entrelinhas da cultura anterior, por meio de anéis de aço de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura (98 cm³), inseridos verticalmente no centro das camadas de 0,0-0,05 m; 0,05-0,10 m; e 0,10-0,20 m. Em cada época, foram coletadas 15 amostras por tratamento e camada, distribuídas na área de cada parcela seguindo uma malha regular de 6 x 12 m. Em laboratório, essas amostras foram utilizadas para determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, conforme Embrapa (1997). Nos mesmos pontos e camadas, foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação do teor de carbono orgânico (COS), em outubro/2012 e abril/2015. O teor de COS foi quantificado pelo método da combustão seca, utilizando analisador elementar marca Thermo Scientific modelo Flash 2000 NC Analyzer. O estoque de C em cada camada avaliada foi calculado multiplicando-

se a massa de solo contida na camada pelo respectivo teor de COS. Seguindo a recomendação de Sisti et al. (2004), para comparação entre as épocas de amostragem, a massa de cada camada foi corrigida tomando-se como referência a época com menor massa na respectiva camada, com o intuito de eliminar o efeito de variações na densidade do solo sobre o estoque de C.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) também foi avaliada em outubro/2012, abril/2014 e abril/2015, em intervalos de 0,05 m na camada de 0,0-0,45 m, por meio de penetrômetro digital equipado com cone de 130 mm² de área de base e 30° de ângulo em relação à vertical. A RP foi quantificada em 75 pontos em cada parcela (uma leitura por ponto), distribuídos seguindo uma malha regular de 3 x 4 m. Simultaneamente à avaliação da RP, foram coletadas amostras de solo em 15 pontos por parcela, nas camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, para determinação do conteúdo de água do solo.

O revolvimento do solo na semeadura foi estimado por meio da redução porcentagem de cobertura do solo com palha, ocasionada pela ação dos mecanismos sulcadores da semeadora. Para isso, imediatamente antes da semeadura da soja, foram obtidas imagens digitais (em condição de sombra) de uma área da superfície do solo equivalente a 0,41 m² (0,64 m x 0,64 m). Esse procedimento foi repetido logo após a semeadura, exatamente nos mesmos pontos avaliados antes da semeadura. Em laboratório, a porcentagem da área das imagens ocupadas por solo e palha, antes e após à semeadura da soja, foi estimada por meio do programa SisCob 1.0 (Jorge & Silva, 2009).

A densidade e a uniformidade de distribuição de plantas de soja foi avaliada aos 28 dias após a semeadura da cultura, em 40 pontos alocados em cada parcela conforme grade amostral regular de 3 x 8 m. Em cada ponto, mediu-se o espaçamento entre as plantas de soja existentes em 3 m de fileira. No caso do sistema “cruzado”, a medição dos espaçamentos em cada ponto foi realizada em 3 m de fileira da 1^a e 2^a passadas. Para o cálculo da densidade de plantas, o número de indivíduos por metro de fileira foi estimado a partir do espaçamento

médio medido. Como indicador da uniformidade de distribuição das plantas, foi calculada a porcentagem de espaçamentos aceitáveis (espaçamento medido entre 0,5 e 1,5 x o espaçamento de referência), duplos (espaçamento medido $< 0,5$ x o espaçamento de referência) e falhos (espaçamento medido $> 1,5$ x o espaçamento de referência). O espaçamento de referência entre as plantas na mesma fileira correspondeu ao espaçamento definido na regulagem da semeadora, de acordo com o arranjo espacial avaliado. O coeficiente de variação (CV, %) dos espaçamentos também foi determinado. A variabilidade espacial da densidade de plantas em cada arranjo foi estimada por meio de gráficos do tipo *box plot*, elaborados com auxílio do programa Excel®.

Em razão da opção pelo uso de parcelas de grandes dimensões, sem casualização, a interpretação dos resultados referentes aos atributos de solo foi feita com base na análise da evolução temporal das variáveis dentro de cada tratamento, sem comparação direta entre os mesmos. Com esse procedimento, o efeito da variabilidade espacial antes da aplicação dos tratamentos foi minimizado. No caso das variáveis referentes à qualidade da semeadura, foi possível a comparação direta entre os tratamentos, uma vez que o efeito da variabilidade espacial de características do solo nessas variáveis é pequeno. Independentemente da estratégia de interpretação utilizada, a comparação estatística entre as médias foi feita pelo cálculo do erro padrão pela distribuição t (Student), a 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do programa Excel®.

Efeitos sobre a qualidade estrutural do solo

A alteração da razão de semeadura e, principalmente, da disposição e espaçamento entre as fileiras na cultura da soja, pode influenciar na qualidade estrutural do solo, especialmente das camadas mais superficiais. Em consequência, todos os processos associados à estrutura do solo, como aeração, capacidade de infiltração de água, disponibilidade hídrica, resistência mecânica ao crescimento radicular e à erosão podem ser alterados em função do arranjo espacial de plantas de soja utilizada. Tais processos são determinantes não apenas da produtividade e da estabilidade de produção da cultura, mas também do impacto ambiental da produção de soja.

A utilização de espaçamentos menores implica no aumento do volume de solo mobilizado mecanicamente pelos mecanismos sulcadores da semeadora por unidade de área, podendo assim contribuir para o rompimento de camadas compactadas superficiais, o que favorece a aeração, a infiltração de água e o crescimento radicular. Da mesma forma, a redução do espaçamento entrelinhas melhora distribuição das plantas de soja na área o que, por sua vez, pode significar maior “taxa de ocupação” do solo por raízes. Neste contexto, o papel das raízes e de sua distribuição no perfil e na melhoria da qualidade estrutural do solo é bem documentado na bibliografia, estando associado tanto à ação mecânica de abertura de bioporos (Oades, 1993), quanto à formação de compostos orgânicos agregantes a partir de exudatos radiculares e microbianos (Goldchin et al., 1997). Por outro lado, o tráfego adicional do conjunto trator-semeadora no sistema “cruzado” pode, ao longo do tempo, favorecer a formação de camadas compactadas no perfil do solo.

Os resultados obtidos em ensaio de campo conduzido na Embrapa Soja, em Londrina, PR (item 2), mostram que os atributos físicos determinados por relações massa/volume (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade) não variaram ao longo de tempo na

camada de 0,0-0,05 m, independentemente do arranjo espacial considerado (Figura 3). Isto indica que, na camada mais superficial do solo, não houve efeito dos arranjos espaciais sobre os valores dessas variáveis em relação aos observados antes do início do experimento (outubro/12).

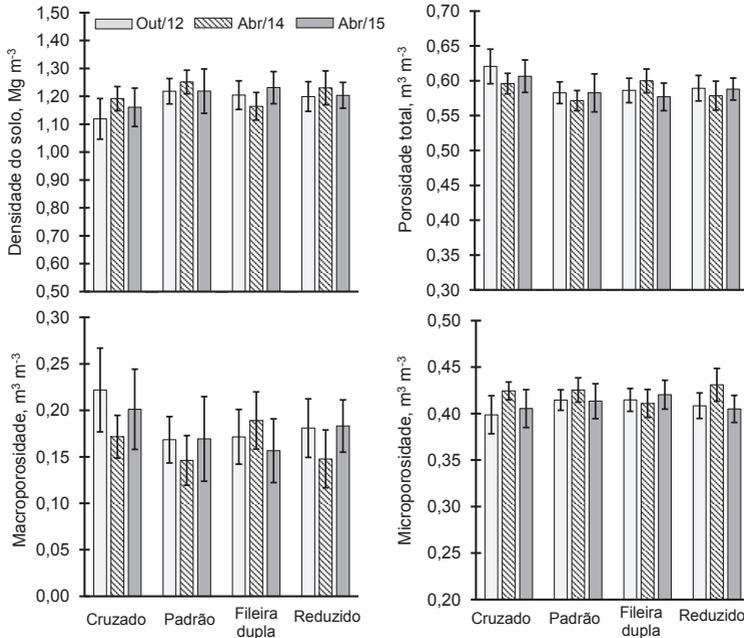


Figura 3. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um Latossolo Vermelho distroférrico na camada de 0,0-0,05m, em função do sistema de semeadura. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Por outro lado, os atributos físicos do solo na camada de 0,05-0,10 m foram significativamente alterados ao longo do tempo pelo arranjo “cruzado”, com aumento da densidade do solo e da microporosidade, e redução da porosidade total e macroporosidade (Figura 4). Nos demais arranjos, não houve alteração significativa nos atributos físicos avaliados de outubro/2012 a abril/2015. Provavelmente, o tráfego adicional do conjunto trator + semeadora no arranjo “cruzado” tenha proporcionado aumento no estado de compactação do solo da camada de 0,05-0,10 m ao longo do tempo.

Na camada de 0,10-0,20 m, os atributos físicos não variaram significativamente ao longo do tempo nos arranjos “cruzado”, “padrão” e “espaçamento reduzido” (Figura 5). Entretanto, de outubro/2012 a abril/2015 no tratamento “fileira dupla”, houve incremento da densidade do solo e redução da porosidade total e macroporosidade, evidenciando que a sementeira em “fileira dupla” aumentou o estado de compactação do solo na camada de 0,10-0,20 m. Como não há efeito da mobilização mecânica pelos mecanismos sulcadores das sementeiras nesta profundidade, os efeitos negativos do tratamento “fileira dupla” sobre a estrutura do solo na camada de 0,10-0,20 m podem estar associados à pior distribuição das plantas de soja neste arranjo, acarretando em uma menor “taxa de ocupação” do solo pelas raízes de solo. Ressalta-se que nas safras 2013/14 e 2014/2015, o espaçamento entre as fileiras duplas foi de 0,75 m, sendo o perfil de solo contido neste espaço provavelmente pouco explorado pelas raízes da soja.

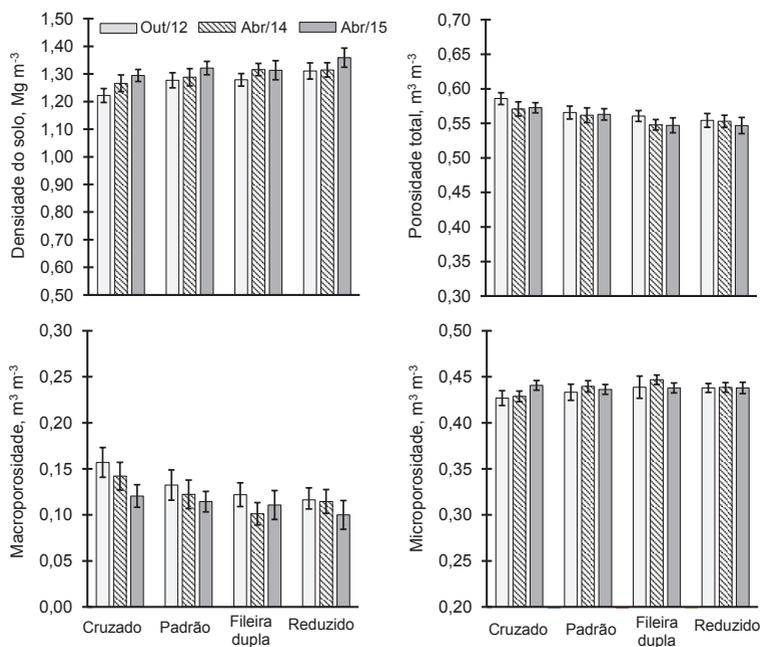


Figura 4. Densidade do solo, porosidade total, macroporos e microporosidade de um Latossolo Vermelho distroférrico na camada de 0,05-0,10 m, em função do sistema de sementeira. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

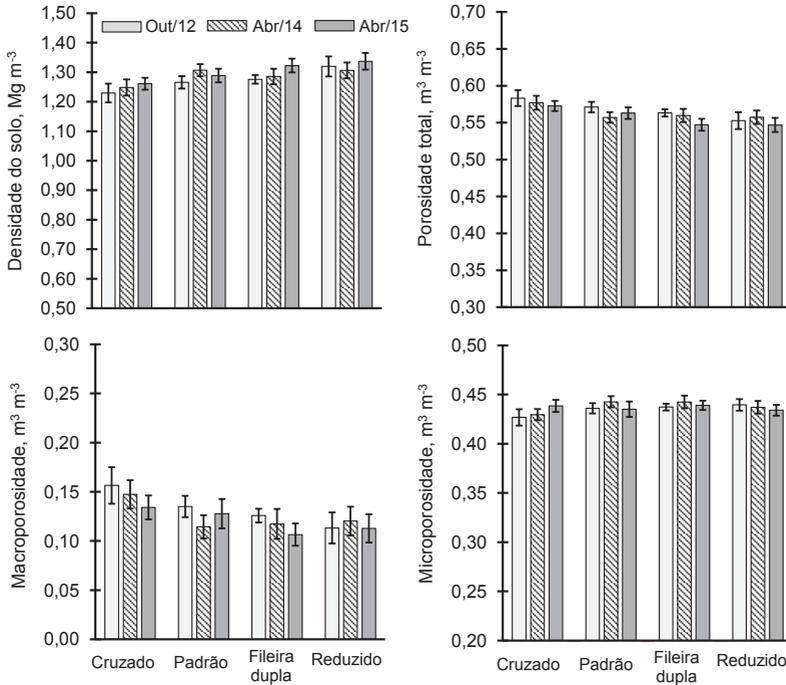


Figura 5. Densidade do solo, porosidade total, macroporos e microporosidade de um Latossolo Vermelho distroférrico na camada de 0,10-0,20m, em função do sistema de semeadura. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Na camada de 0,25-0,45 m de profundidade, não houve variação significativa dos valores de RP ao longo do tempo em todos os arranjos avaliados, sendo as médias equivalentes a 2516, 2310, 2112, 1974 e 1870 kPa nas profundidades de 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; e 0,45 m, respectivamente. Por outro lado, na camada de 0,0-0,20 m, a umidade do solo no momento da avaliação da RP diferiu significativamente entre as diferentes épocas (Figura 6). Assim, os dados de RP obtidos nesta camada foram corrigidos em função da umidade do solo, conforme as equações ajustadas por Moraes (2013).

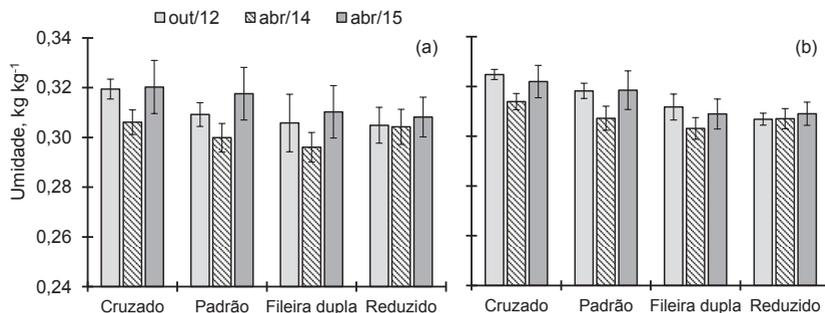


Figura 6. Umidade gravimétrica de um Latossolo Vermelho distroférico nas camadas de 0,0-0,1 m (a) e 0,1-0,2 m (b), no momento da avaliação da resistência mecânica à penetração, em função dos arranjos espaciais avaliados. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Na profundidade de 0,05 m, não houve variação significativa da RP ao longo do tempo nos tratamentos “padrão” (Figura 7b), “fileira dupla” (Figura 7c) e “espaçamento reduzido” (Figura 7d). No caso do arranjo “cruzado”, a RP a 0,05 m de profundidade aumentou da 1^a para 2^a avaliação, retornando aos valores observados antes da implantação do experimento na 3^a época (Figura 7a). Independentemente do arranjo, a RP na profundidade de 0,10 m foi significativamente maior na 3^a avaliação comparativamente à 1^a. Entretanto, esse aumento foi proporcionalmente maior no arranjo “cruzado” (44%) do que nos demais tratamentos (20; 16; e 15% para o “padrão”, “fileira dupla” e “espaçamento reduzido”, respectivamente). Nas profundidades de 0,15 e 0,20 m, os valores de RP na 3^a avaliação foram significativamente maiores em relação à 1^a no arranjo “cruzado”, enquanto que, nos tratamentos “padrão” e “espaçamento reduzido”, não houve diferenças significativas entre essas duas épocas. Na profundidade de 0,15 m do arranjo “fileira dupla”, os valores de RP na 3^a época foram similares aos obtidos na 1^a. Entretanto, na camada de 0,20 m, a RP na 3^a avaliação foi maior comparativamente à 1^a.

De maneira similar ao observado para a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade (Figuras 3, 4 e 5), os dados de RP

(Figura 7) evidenciam aumento do grau de compactação do solo no arranjo “cruzado”, na camada 0,05-0,20 m de profundidade. Conforme já discutido, este resultado pode ser atribuído a maior intensidade de tráfego no arranjo “cruzado”, que exigiu a realização duas passadas do conjunto trator + semeadora na implantação da cultura da soja. Do mesmo modo, a RP indicou aumento do grau de compactação do solo ao longo do tempo na profundidade 0,20 m do arranjo “fileira dupla”, o se encontra provavelmente associado à baixa densidade de raízes de soja no perfil de solo na região correspondente ao espaço entre as fileiras duplas.

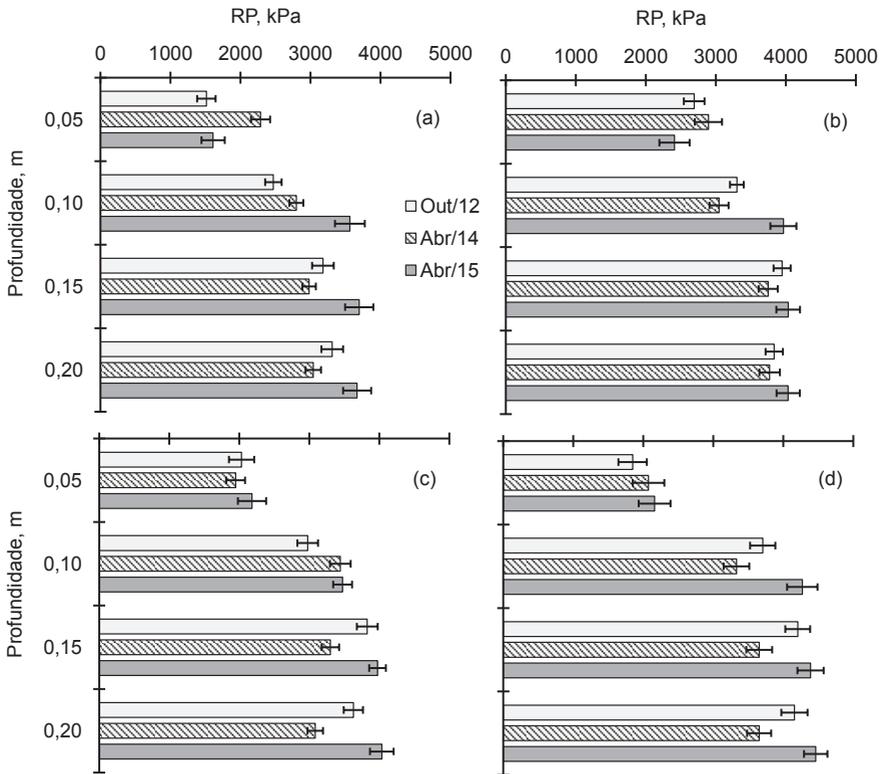


Figura 7. Resistência mecânica à penetração (RP) de um Latossolo Vermelho distroférrico nos sistemas “cruzado” (a), “padrão” (b), “fileira dupla” (c) e “espaçamento reduzido” (d), em diferentes épocas de avaliação. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Efeitos sobre os estoques de carbono orgânico do solo e emissões de C-CO₂ para a atmosfera

A redução do espaçamento entrelinhas ou a utilização do arranjo de plantas “cruzado” acarretam maior mobilização mecânica da camada superficial do solo pelos mecanismos sulcadores da semeadora. Neste sentido, o revolvimento favorece a mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), em função do aumento da disponibilidade de O₂ e, principalmente, da desagregação do solo, o que reduz a eficiência dos mecanismos de proteção da física da MOS, expondo assim os compostos orgânicos à ação microbiota do solo (Feller & Beare, 1997; Barreto et al., 2009; Sá et al., 2010). Além de afetar negativamente a qualidade física, química e biológica do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999), a mineralização da MOS implica na liberação de CO₂ para a atmosfera, um dos principais gases causadores do efeito estufa.

Os dados obtidos no experimento realizado em Londrina, PR indicam que os teores e os estoques de COS na camada de 0,0-0,05 m foram menores em abril/2015 comparativamente a outubro/2012, independentemente do arranjo de plantas (Figuras 8a e 8b). Como a redução dos teores e estoques de COS ocorreu para todos os tratamentos, o mais provável é que outros fatores, não associados aos arranjos, expliquem as perdas de COS na camada de 0,0-0,05 m. Neste sentido, é possível que, em outubro/2012, a camada superficial do solo estivesse transitoriamente enriquecida com frações particuladas (lábeis) de MOS, de rápida mineralização, provenientes do processo de decomposição da palhada de aveia preta no momento da coleta das amostras. Por outro lado, a 2ª coleta foi realizada após a colheita da soja safra 2014/15, cultura com menor produção de fitomassa, resultando provavelmente em menor quantidade de frações particuladas de MOS. Assim, a decomposição das frações lábeis de C provenientes da aveia preta, durante o ciclo de soja, seria a principal justificativa para a redução nos teores e estoques de COS na camada de 0,0-0,05 m. Nas demais

camadas (0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m), não houve efeito significativo da época de coleta das amostras sobre os teores (Figuras 8c e 8e) e os estoques (Figuras 8d e 8f) de COS, em todos os tratamentos.

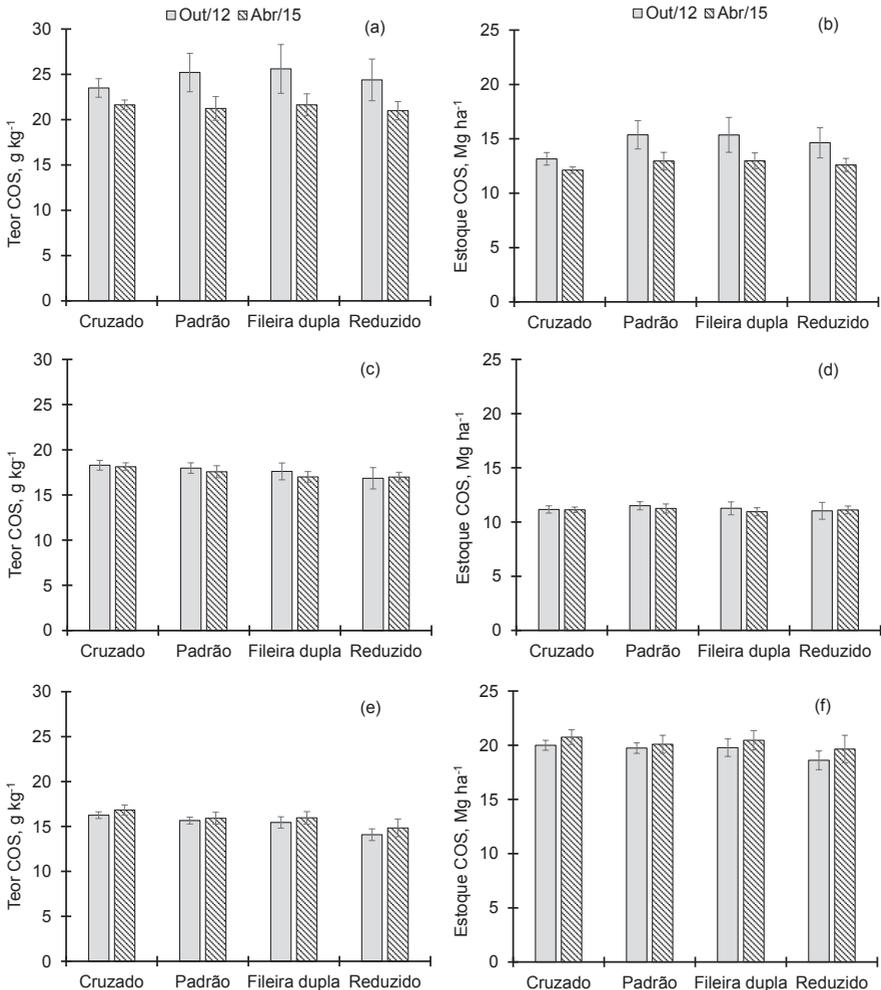


Figura 8. Teores (a, c, e) e estoques (b, d, f) de carbono orgânico do solo (COS) em amostras coletadas em outubro/2012 e abril/2015, nas camadas de 0,0-0,05 m (a, b), 0,05-0,10 m (c, d) e 0,10-0,20 m (e, f), em função dos arranjos espaciais avaliados. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Diante disso, os resultados demonstraram que, após três safras, o aumento da intensidade de revolvimento do solo em função da utilização de menores espaçamentos e do cruzamento das linhas na cultura da soja não aumentou a taxa de mineralização da MOS e, conseqüentemente, as emissões de C-CO₂ do solo. Entretanto, alterações nos teores e estoques de COS em decorrência de práticas de manejo do solo são mais evidentes no longo prazo (Sá et al., 2010), de forma que, neste trabalho, três anos de condução de experimental podem não ter sido suficientes para que a maior intensidade de revolvimento nos tratamentos “espaçamento reduzido” e “cruzado” resultasse em perdas significativas de MOS. Adicionalmente, os efeitos da intensidade de mobilização do solo sobre a taxa de mineralização da MOS são maiores em solos arenosos comparativamente aos argilosos como o utilizado neste trabalho, visto que nestes solos a proteção física promovida por microagregados é menos influenciada pelo revolvimento (Feller & Beare, 1997).

A redução do espaçamento entrelinhas da soja implica no uso de maior número de linhas na semeadora e, conseqüentemente, no aumento da demanda de potência na barra de tração do trator e do consumo de combustível por área semeada. Da mesma forma, o arranjo “cruzado” exige duas passadas do conjunto trator + semeadora, aumentando também o gasto de combustível por hectare trabalhado. Considerando um trator de 110 cv de potência no motor, os coeficientes técnicos descritos na norma ASAE D497.4 (ASABE, 2003) para determinação da demanda de potência e consumo de combustível, e um fator de emissão de 2,81 kg de CO₂ por litro de diesel consumido (Diekow, 2003), foi possível estimar as emissões de C-CO₂ na operação de semeadura, em função de diferentes arranjos espaciais de plantas de soja (Figura 9). A utilização dos arranjos “espaçamento reduzido” e “cruzado” aumentou a emissão de C-CO₂ em aproximadamente 3,5 e 6 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, em relação aos arranjos “padrão” e “fileira dupla”. Neste contexto, a utilização do “espaçamento reduzido” em 1/3 da área cultivada com soja no Brasil na safra 2015/16 (ou seja, em 11 dos 33 milhões de hectares), teria um potencial de aumento de

cerca de 60 mil toneladas nas emissões de C-CO₂. Esse valor equivale ao C-CO₂ emitido pelo combustível consumido por cerca de 80 mil veículos de porte médio percorrendo 10.000 km ano⁻¹.

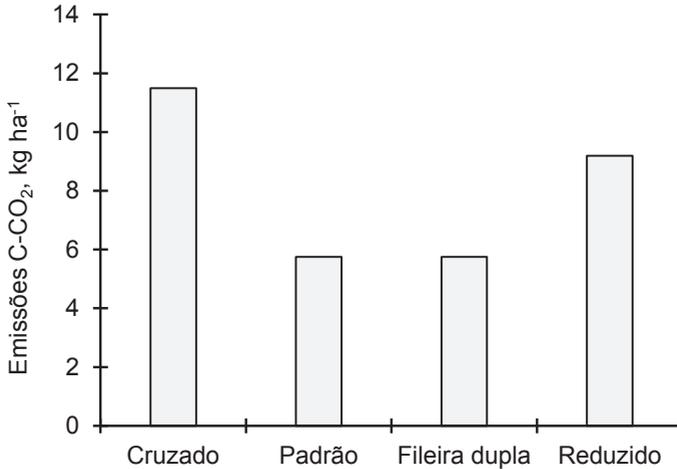


Figura 9. Estimativa das emissões C-CO₂ durante a operação de semeadura da cultura da soja, em função do sistema utilizado. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Efeitos sobre a cobertura do solo em sistema plantio direto

Os efeitos dos arranjos de plantas de soja sobre a porcentagem de cobertura do solo e de solo exposto pelos sulcadores da semeadora são apresentados na Figura 10. Já o aspecto visual da superfície do solo após a semeadura da soja em diferentes arranjos é mostrado na Figura 11.

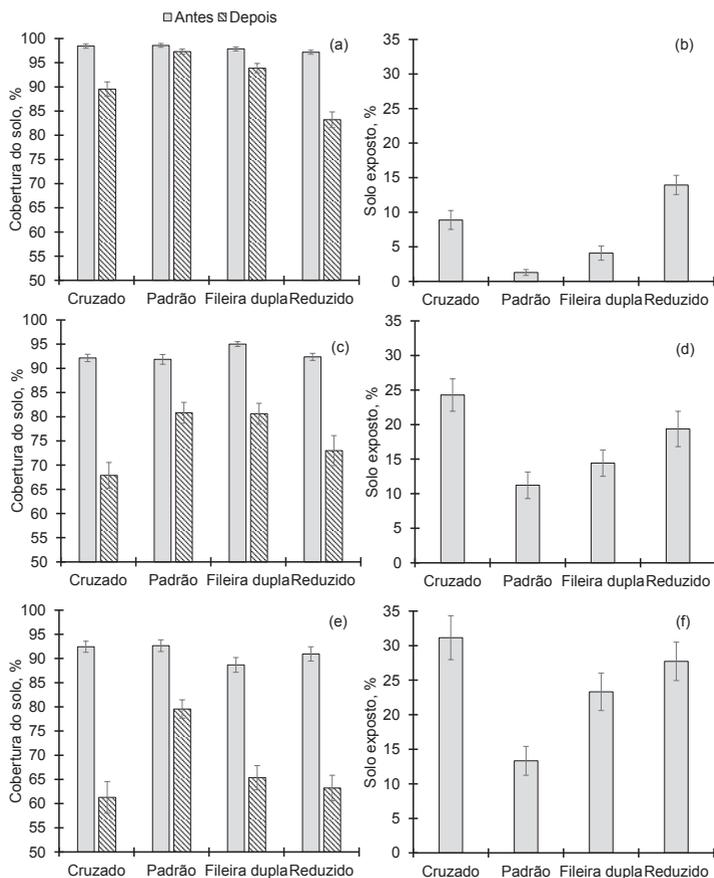


Figura 10. Porcentagem de cobertura do solo com palha de aveia preta antes e depois da semeadura (a, c, e), e solo exposto pela ação dos mecanismos sulcadores (b, d, f), em função do sistema de semeadura, nas safras 2012/13 (a, b), 2013/14 (c, d) e 2014/15 (e, f). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

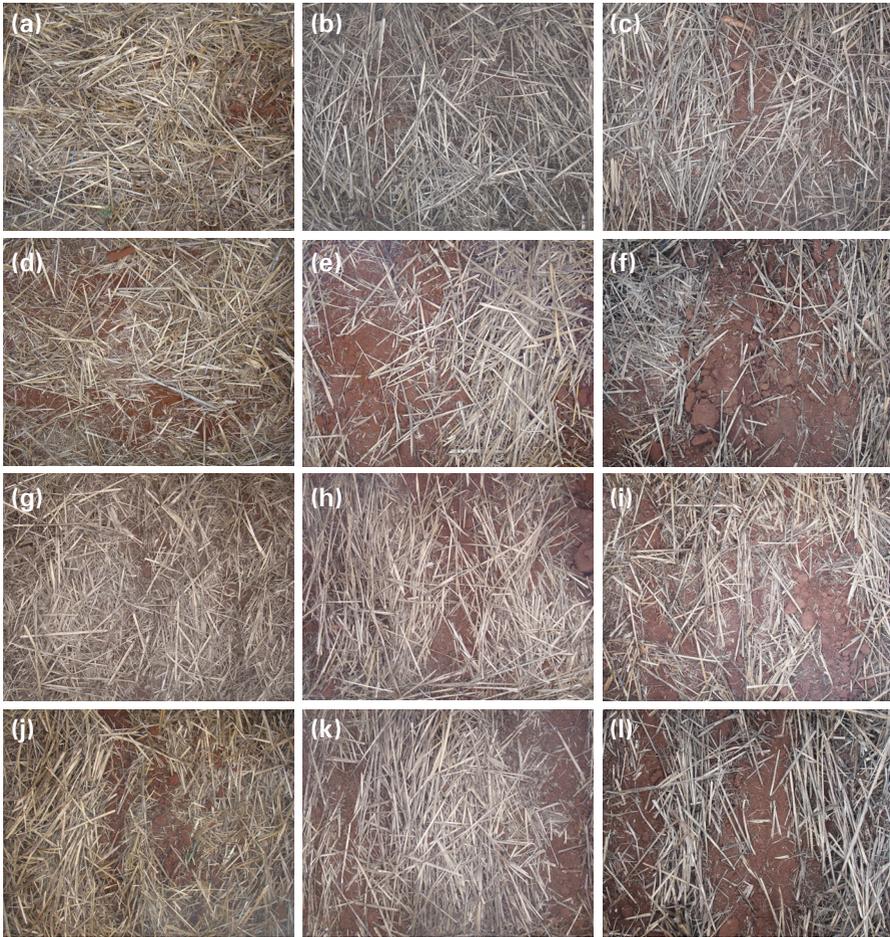


Figura 11. Aspecto visual da superfície do solo nos arranjos “padrão” (a, b, c), “cruzado” (d, e, f), “fileira dupla” (g, h, i) e “espaçamento reduzido” (j, k, l), nas safras 2012/13 (a, d, g, j), 2013/14 (b, e, h, k) e 2014/15 (c, f, i, l). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

De maneira geral, os tratamentos “cruzado” e “espaçamento reduzido” apresentaram as menores porcentagens de cobertura do solo por palhada após a semeadura (Figuras 10a, 10c, 10e, 11) e, consequentemente, as maiores proporções de solo exposto pela ação dos mecanismos sulcadores (Figuras 10b, 10d, 10f, 11), em todas as safras avaliadas. A exposição de solo na semeadura foi expressiva principal-

mente na safra 2014/15, onde a porcentagem de cobertura do solo nos arranjos “cruzado” e “espaçamento reduzido” foi de aproximadamente 60%. Além da maior densidade de linhas de semeadura nos arranjos “cruzado” e “espaçamento reduzido” (40.000 m ha⁻¹, contra 20.000 m ha⁻¹ nos tratamentos “fileira dupla” e “normal”, considerando as safras 2013/14 e 2014/15), a maior redução da porcentagem de cobertura nestes arranjos pode ser justificada pela maior ocorrência de embuchamentos da semeadora, conforme ilustrado na Figura 12. No sistema “espaçamento reduzido”, o aumento da frequência de embuchamentos se deveu principalmente à dificuldade de fluxo da palhada por entre as linhas de semeadura, ocasionada pelo menor espaçamento. No caso do arranjo “cruzado”, observou-se maior ocorrência de embuchamentos na 2ª passada da semeadora, haja vista que a 1ª passada reduz a ancoragem da palhada ao solo, dificultando o corte da palha na 2ª operação.



Figura 12. Acúmulo de palhada de aveia preta (a) e exposição de solo e ocasionado por embuchamento da semeadora-adubadora durante a semeadura da soja no arranjo “espaçamento reduzido”. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

O arranjo “fileira dupla” resultou em maior porcentagem de cobertura do solo e menos solo exposto pelos sulcadores da semeadora em relação aos tratamentos “cruzado” e “espaçamento reduzido” em todas as safras, porém a redução da cobertura do solo pela semeadura foi maior do que o sistema “padrão” nas safras 2012/13 e 2014/15 (Figuras 10 e 11). A maior exposição de solo no arranjo “fileira dupla” comparativamente ao “padrão” na safra 2012/13 pode ser atribuída ao menor espaçamento médio entre fileiras, equivalente a 0,3 m (0,2

x 0,4 m) e 0,4 m, respectivamente. Já em 2014/15, este resultado pode ser explicado pela dificuldade de fluxo da palha de aveia preta nas fileiras mais próximas do arranjo “fileira dupla”, resultando em maior exposição de solo.

As maiores reduções na porcentagem de cobertura do solo após a semeadura da soja ocorreram em 2013/14 e 2014/15, independentemente do arranjo (Figuras 10 e 11). Isto pode ser explicado pela utilização, nestas safras, de protótipo de semeadora-adubadora equipada com mecanismos sulcadores para deposição de fertilizante e sementes. Por outro lado, na safra 2012/13, a exposição de solo pela semeadora foi menor tendo em vista que a mesma possuía apenas mecanismos sulcadores para deposição das sementes.

Diante desses resultados, pode-se inferir que todos os arranjos de plantas de soja alternativos ao “padrão” implicam em redução da cobertura do solo após a semeadura, mesmo quando realizada sobre palhada abundante de aveia preta. Essa redução é mais acentuada nos arranjos “cruzado” e “espaçamento reduzido”, e quando da utilização de semeadoras equipadas com sulcadores de fertilizantes e sementes. A menor cobertura do solo pode resultar em diversos impactos negativos, como o aumento da suscetibilidade do solo à erosão e à formação de crostas superficiais, da infestação de plantas daninhas e das perdas de água do solo por evaporação. Além de contribuir para a degradação da qualidade do solo, esses efeitos podem comprometer o estabelecimento da cultura e reduzir a disponibilidade de recursos ambientais necessários ao crescimento das plantas, limitando assim a produtividade.

Efeitos sobre a suscetibilidade do solo à erosão hídrica

A maior redução da porcentagem de cobertura do solo com palha pela operação de semeadura nos arranjos “cruzado”, “espaçamento reduzido” e “fileira dupla” (Figuras 10 e 11) diminui a eficiência do SPD na dissipação da energia das gotas da chuva, aumentando assim a suscetibilidade do solo à erosão hídrica em relação ao arranjo “padrão”. No caso do sistema “cruzado”, os processos erosivos podem ser favorecidos em função da menor capacidade de infiltração de água decorrente do aumento do grau de compactação do solo (Figuras 3, 4, 5 e 7). Outro agravante do arranjo “cruzado” é a realização de uma das passadas da semeadora paralelamente ao declive (Figura 13). Os sulcos de semeadura e as linhas de tráfego “morro abaixo” constituem-se em caminhos preferenciais para a enxurrada, aumentando assim as perdas de água e solo por erosão. O favorecimento aos processos erosivos no sistema “cruzado” pode ser ainda maior caso a 2ª passada for a escolhida para ser realizada morro abaixo.



Figura 13. Semeadura da soja no sentido paralelo ao declive (morro abaixo), no arranjo “cruzado”. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Efeitos sobre a qualidade de semeadura

A mudança no arranjo de plantas de soja, tanto em função da variação da densidade de plantas, quanto da disposição e do espaçamento entre as linhas, exige alterações na razão de semeadura, ou seja, na quantidade de sementes distribuídas em 1 m de linha. Em semeadoras equipadas com dosadores de sementes do tipo disco perfurado horizontal, as mais utilizadas atualmente no Brasil na implantação da soja, a razão de semeadura pode ser ajustada pelo número de furos do disco e/ou pela regulação da velocidade de rotação do mesmo. O aumento da velocidade de rotação do disco dificulta o preenchimento dos furos e aumenta o dano mecânico às sementes, podendo assim resultar em razões de semeadura reais inferiores às obtidas por regulação e, conseqüentemente, em densidades de plantas menores do que a planejadas, com aumento de falhas e da variabilidade da distribuição. Do mesmo modo, quando a adubação é realizada na linha de semeadura, a alteração da disposição ou do espaçamento entre as fileiras requer a modificação da taxa de aplicação de fertilizante (g m^{-1} de fileira), o que também pode influenciar a germinação das sementes e emergência das plântulas, especialmente em anos secos, em razão do efeito salino associado principalmente às fontes de potássio. O arranjo de plantas pode ainda afetar a uniformidade de distribuição e a densidade de plantas em função de alterações na qualidade do sulco de semeadura e na cobertura do mesmo com palha.

Os efeitos do arranjo sobre a qualidade de distribuição espacial das plantas de soja, em termos da variação do espaçamento real comparado ao espaçamento definido por regulação, podem ser avaliados por meio da quantificação da porcentagem de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos (Figuras 14, 15 e 16). Em geral, os resultados obtidos na Embrapa Soja indicaram que os arranjos com menor espaçamento entrelinhas e, conseqüentemente, com menor razão de semeadura, apresentaram maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis, evidenciando melhor distribuição de plantas. Esse foi o caso dos arranjos

“espaçamento reduzido” em todas as safras (Figuras 14, 15 e 16), e “fileira dupla” na safra 2012/13, o qual se caracterizou por um espaçamento médio entrelinhas inferior ao “padrão” (0,3 m) (Figura 14). Por outro lado, nas safras 2013/14 e 2014/15, as porcentagens de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos no arranjo “fileira dupla” foram similares às observadas no tratamento “padrão”. A porcentagem de espaçamentos aceitáveis também foi maior na 2ª passada do tratamento “cruzado” comparativamente ao “padrão” em todas as safras avaliadas, o que novamente pode ser atribuído a menor razão de semeadura (que foi igual à utilizada no “espaçamento reduzido”).

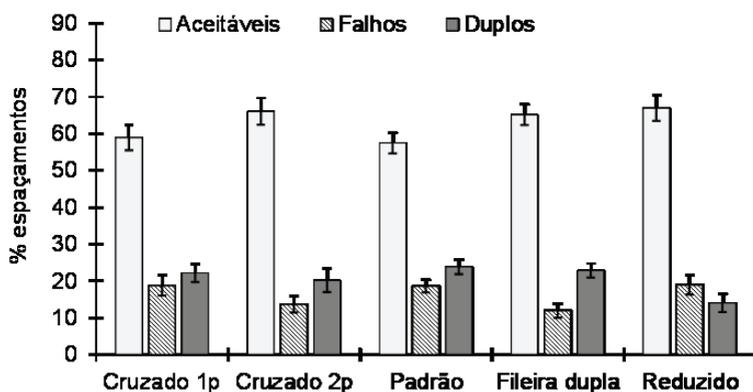


Figura 14. Porcentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos entre plantas emergidas de soja na safra 2012/13, em função do sistema de semeadura. Cruzado 1p = 1ª passada da semeadora no sistema “cruzado”; Cruzado 2p = 2ª passada da semeadora no sistema “cruzado”. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

A maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis nos tratamentos com menor razão de semeadura resultou, na maioria dos casos, da diminuição na porcentagem de espaçamentos falhos (Figuras 14, 15 e 16). Esses resultados podem ser associados à utilização de velocidades mais baixas de rotação dos discos dosadores nos arranjos com menor razão de semeadura, o que facilitou o preenchimento dos furos e diminuiu os danos mecânicos às sementes. Outro aspecto muito importante a ser considerado no que se refere à qualidade de distribuição das plantas de soja nas safras 2013/14 e 2014/15 é a taxa de aplicação de

fertilizante na linha de semeadura. Neste sentido, a taxa de aplicação de fertilizante foi de 10 g m^{-1} para os arranjos “espaçamento reduzido” e “cruzado”, enquanto que, nos arranjos “padrão” e “fileira dupla”, esse valor foi duas vezes maior (20 g m^{-1}). Deste modo, a menor porcentagem de espaçamentos falhos na 2ª passada do arranjo “cruzado” e no “espaçamento reduzido” comparativamente ao “padrão” e “fileira dupla” nas safras 2013/14 e 2014/15 pode ser atribuída ao menor efeito salino decorrente da menor taxa de aplicação de fertilizante nas linhas de semeadura. Ressalta-se que a diminuição dos espaçamentos falhos foi mais acentuada na safra 2013/14, quando a germinação das sementes e a emergência plântulas de soja coincidiram com um período de seca (Figura 1).

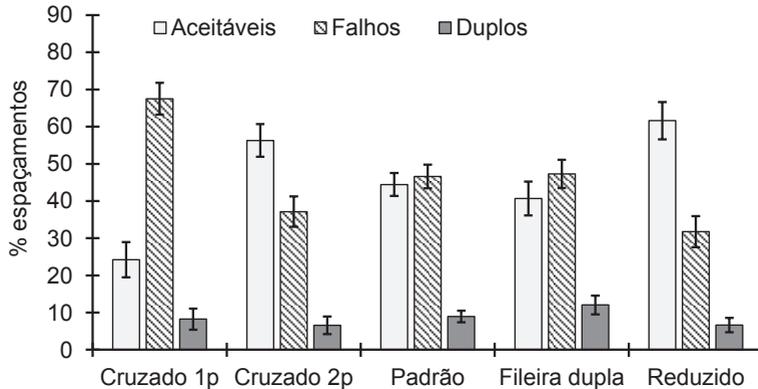


Figura 15. Porcentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos entre plantas emergidas de soja na safra 2013/14, em função do sistema de semeadura. Cruzado 1p = 1ª passada da semeadora no sistema “cruzado”; Cruzado 2p = 2ª passada da semeadora no sistema “cruzado”. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

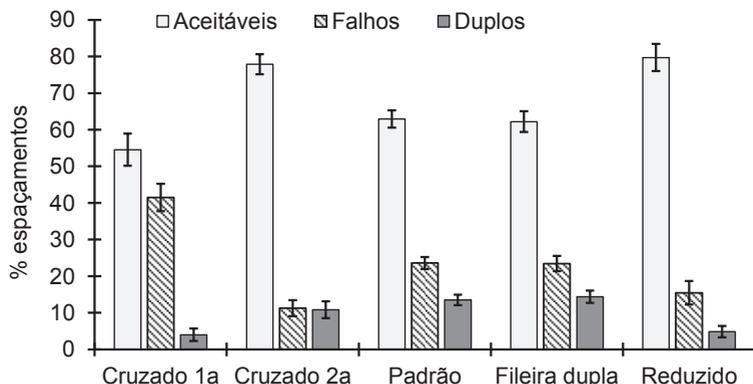


Figura 16. Porcentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos entre plantas emergidas de soja na safra 2014/15, em função do sistema de semeadura. Cruzado 1p = 1ª passada da semeadora no sistema “cruzado”; Cruzado 2p = 2ª passada da semeadora no sistema “cruzado”. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Além da velocidade de rotação dos discos perfurados e da taxa de aplicação de fertilizante, a ocorrência de falhas na distribuição de plantas é determinada por outros fatores, como a qualidade no posicionamento e aterramento das sementes. Neste sentido, a porcentagem de espaçamentos falhos na 1ª passada do arranjo “cruzado” foi superior à 2ª passada em todas as safras, resultando em menor proporção de espaçamentos aceitáveis (Figuras 14, 15 e 16). Adicionalmente, a porcentagem de espaçamentos falhos foi maior na 1ª passada do arranjo “cruzado” comparativamente ao “padrão” em todas as safras, acarretando redução significativa na porcentagem de espaçamentos aceitáveis na safras 2013/14 e 2014/2015. Esses resultados demonstram que a 2ª passada no sistema “cruzado” prejudica a distribuição das plantas nas linhas de semeadura da 1ª passada, com incremento das falhas em virtude do aumento da quantidade de sementes descobertas pelo revolvimento do solo, bem como da compactação excessiva nas linhas de semeadura pelo tráfego do trator e da semeadora. Outro aspecto importante é que o aumento dos espaçamentos falhos com a consequente redução da proporção de espaçamentos aceitáveis na 1ª passada do arranjo “cruzado” em relação à 2ª passada e ao tratamento “padrão” foi mais acentuada nas safras 2013/14 (Figura 15) e 2014/15

(Figura 16), quando a semeadora utilizada apresentava mecanismos sulcadores para deposição do fertilizante. Provavelmente, a maior intensidade de revolvimento do solo na 2ª passada nestas safras tenha contribuído para aumentar o percentual de sementes expostas da 1ª passada, incrementando assim as falhas no estabelecimento das plantas de soja.

Na safra 2012/13, a variabilidade dos espaçamentos entre plantas de soja na linha de semeadura, estimada pelo seu coeficiente de variação (CV, %), não foi significativamente influenciada pelos arranjos (Figura 17). Entretanto, na safra seguinte (2013/14), o arranjo “espaçamento reduzido” apresentou menor variabilidade dos espaçamentos comparativamente ao “padrão” que, por sua vez, não diferiu dos demais tratamentos. As maiores diferenças entre os arranjos foram observadas na safra 2014/15, onde as menores variabilidades dos espaçamentos entre plantas de soja nas linhas de semeadura ocorreram no tratamento “espaçamento reduzido” e na 2ª passada do arranjo “cruzado”. Por outro lado, os arranjos “padrão” e “fileira dupla” resultaram nas maiores variabilidades, enquanto que a 1ª passada do arranjo “cruzado” apresentou desempenho intermediário. De maneira similar ao observado para os espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos, os arranjos com menor razão de semeadura (“espaçamento reduzido” e 2ª passada do “cruzado”) e, conseqüentemente, menor velocidade de rotação dos discos horizontais perfurados, proporcionaram distribuição mais uniforme das plantas na linha.

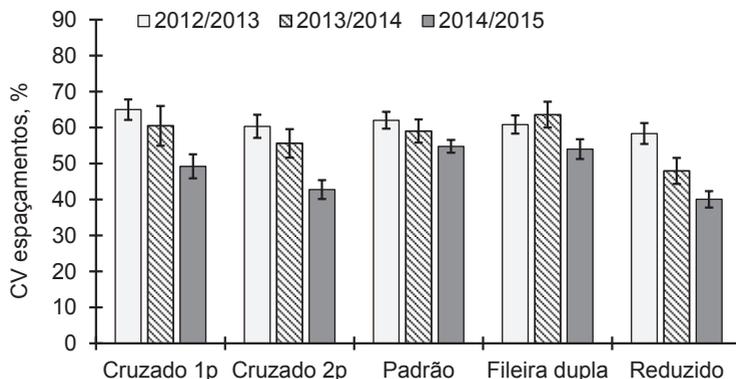


Figura 17. Coeficiente de variação do espaçamento entre plantas emergidas de soja nas safras 2012/13, 2013/14 e 2014/15, em função do sistema de semeadura. Cruzado 1p = 1ª passada da semeadora no sistema “cruzado”; Cruzado 2p = 2ª passada da semeadora no sistema “cruzado”. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Comparando-se os CVs obtidos nas duas passadas no sistema “cruzado” (Figura 17), verifica-se que os efeitos negativos da 2ª operação sobre a 1ª em termos de variabilidade de distribuição foram menos acentuados do que os observados nas porcentagens de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos (Figuras 14, 15 e 16). Neste contexto, os espaçamentos entre plantas na linha de semeadura apresentaram variabilidade significativamente maior na 1ª passada em relação a 2ª apenas na última safra (2014/15), ainda assim com diferenças proporcionalmente menores quando comparadas à proporção de espaçamentos aceitáveis e falhos. Estes resultados reforçam a hipótese de que o aumento da proporção de falhas nas linhas de semeadura da 1ª passada não foi consequência da distribuição das sementes pelo mecanismo dosador, mas sim resultado de pior germinação das sementes e emergência das plântulas em decorrência do tráfego do conjunto trator-semeadora e do revolvimento do solo pelos sulcadores na 2ª passada.

A densidade de plantas de soja aos 30 dias após a semeadura (DAS) da cultura foi significativamente influenciada pelos arranjos, sendo esses efeitos variáveis conforme o ano (Figura 18). Nas safras 2013/14

e 2014/15, quando a adubação foi realizada na linha de semeadura, a densidade de plantas de soja foi maior no arranjo “espaçamento reduzido” comparativamente ao “padrão” que, por sua vez, não diferiu dos sistemas “cruzado” e “fileira dupla”. Novamente, a maior densidade de plantas de soja no arranjo “espaçamento reduzido” foi determinada pela menor velocidade de rotação dos discos dosadores o que facilitou o preenchimento dos furos e diminuiu os danos mecânicos às sementes, reduzindo assim a diferença entre a quantidade de sementes distribuída e a estabelecida em regulagem. Adicionalmente, a taxa de aplicação de fertilizante (g m^{-1}) na linha foi 50% menor no arranjo “espaçamento reduzido” em relação ao “padrão” e “fileira dupla”, o que diminuiu o efeito salino associado ao adubo potássico e, assim, proporcionou condições mais favoráveis à germinação das sementes e ao estabelecimento das plântulas. Essa hipótese é reforçada levando-se em consideração que a maior diferença na densidade de plantas de soja entre o arranjo “espaçamento reduzido” e o “padrão” ocorreu na safra 2013/2014, quando a germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas se deu sob restrição hídrica (Figura 1).

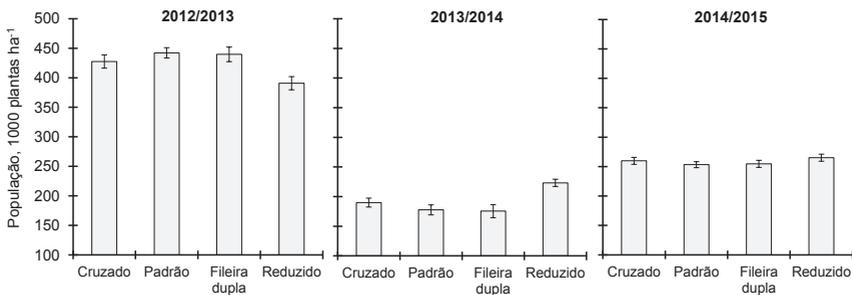


Figura 18. População de plantas de soja aos 30 dias após a semeadura, em função do sistema de semeadura, nas safras 2012/13, 2013/14 e 2014/15. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Ao contrário do observado nas safras 2013/14 e 2014/15, a densidade de plantas na safra 2012/13 foi maior no arranjo “padrão” do que no “espaçamento reduzido” (Figura 18), revelando a existência de outros fatores alterados pelos arranjos e que determinam o estabelecimento das plantas de soja. No caso específico da safra 2012/13, a massa da

semeadora utilizada não foi suficiente para garantir adequada penetração dos discos duplos no solo no “espaçamento reduzido”, em razão do maior número de linhas de semeadura, o que reduziu a pressão por disco. Assim, muitas sementes não foram adequadamente aterradas, resultando em falhas no estabelecimento das plântulas. Portanto, a redução do espaçamento entrelinhas requer atenção especial para a necessidade de aumento da massa da semeadora, buscando a adequada penetração dos mecanismos sulcadores.

A densidade de plantas no arranjo “cruzado” foi similar ao “padrão” em todas as safras (Figura 18). Na safra 2012/13, isso ocorreu porque a densidade de plantas estabelecidas na 1ª passada não diferiu da 2ª (Figura 19), muito provavelmente em virtude da menor mobilização de solo ocasionada pela 2ª passada da semeadora que, neste ano, apresentava apenas sulcadores para deposição das sementes. Já nas safras seguintes, a densidade de plantas na 1ª passada foi significativamente menor em relação a 2ª o que, conforme já discutido anteriormente, pode ser justificado pela compactação excessiva do sulco de semeadura em função do tráfego do conjunto trator + semeadora, bem como pelo aumento da proporção de sementes expostas pelo revolvimento do solo na 2ª passada. Mesmo assim, a densidade de plantas no arranjo “cruzado” não diferiu do tratamento “padrão”, visto que a menor densidade da 1ª passada foi compensada por um aumento equivalente na densidade na 2ª, consequência da menor razão de semeadura (e, conseqüentemente, velocidade do disco dosador mais baixa) e taxa de aplicação de fertilizante. Vale ressaltar que, se a densidade de plantas de soja na 1ª passada fosse similar a 2ª, as densidades finais no arranjo “cruzado” nas safras 2013/14 e 2014/15 seriam muito próximas ao “espaçamento reduzido” e superiores aos tratamentos “padrão” e “fileira dupla”.

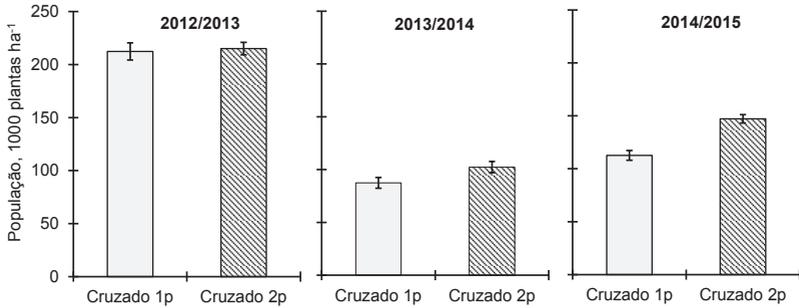


Figura 19. População de plantas de soja resultantes da primeira (cruzado 1p) e segunda (cruzado 2p) passadas da semeadora no sistema “cruzado”, aos 30 dias após a semeadura. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Outro aspecto importante em relação à qualidade de semeadura é a variabilidade espacial da densidade de plantas. De acordo com os gráficos *box plot* da Figura 20, verifica-se que, na safra 2013/14, quando houve restrição hídrica durante a germinação das sementes e estabelecimento das plântulas de soja, a menor amplitude de variação espacial da densidade de plantas foi obtida no arranjo “espaçamento reduzido” (de 210 a 240 mil plantas ha^{-1}), seguido do “cruzado” (170 a 210 mil plantas ha^{-1}). No mesmo ano, a densidade de plantas nos tratamentos “padrão” e “fileira dupla” variou de 150 a 200 mil plantas e de 140 a 210 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. Novamente, a menor variabilidade espacial da população de plantas no arranjo “espaçamento reduzido” pode ser atribuída a menor velocidade de regulagem dos discos dosadores de sementes e a menor taxa de aplicação do fertilizante. Na safra seguinte, quando as condições climáticas para o estabelecimento das plantas foram adequadas (Figura 1), a variabilidade espacial da densidade de plantas foi pouco influenciada pelos arranjos e, em 2012/13, a maior amplitude de variação foi observada no tratamento “espaçamento reduzido”, o que possivelmente encontra-se associado à variabilidade na profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores pela baixa pressão por disco, conforme já discutido anteriormente.

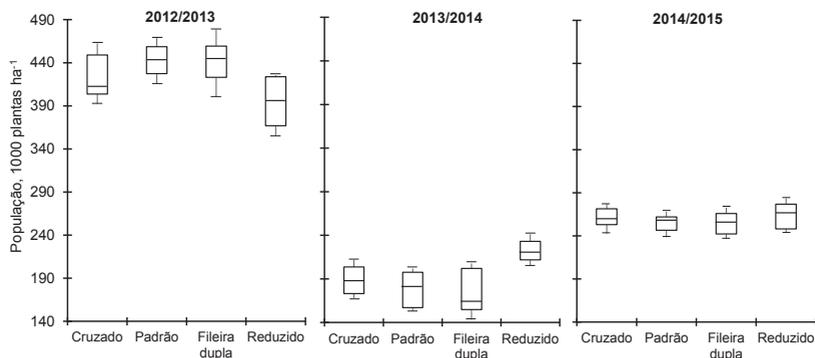


Figura 20. Box plot representando a população de plantas de soja nos diferentes sistemas de semeadura avaliados, nas safras 2012/13, 2013/14 e 2014/15. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2015.

Em suma, os arranjos espaciais podem influenciar a uniformidade de distribuição e a densidade de plantas de soja. A redução do espaçamento em relação ao padrão utilizado nas áreas de produção de soja tende a proporcionar uma distribuição mais uniforme de plantas e em uma densidade mais próxima à definida por regulagem, desde que o aumento do número de linhas seja acompanhado de ajustes na massa da semeadora, de forma que se atinja uma profundidade de semeadura uniforme e próxima à considerada ideal. Adicionalmente, os efeitos benéficos da redução do espaçamento sobre a qualidade de semeadura são potencializados em anos secos e/ou quando o fertilizante é aplicado na linha de semeadura. Por outro lado, o estabelecimento das plantas de soja, em termos de uniformidade e alcance da densidade desejada, é prejudicado no arranjo “cruzado”, em virtude dos efeitos negativos da 2ª passada sobre a 1ª.

Considerações finais

Além de influenciar a performance agrônômica da soja, o arranjo espacial de plantas afeta também o impacto ambiental associado à produção da cultura, assim como a qualidade de semeadura. Esses efeitos não devem ser negligenciados, constituindo-se em importantes critérios para a tomada de decisão a respeito do arranjo a ser adotado.

Dentre as opções de arranjos alternativos disponíveis ao produtor, o sistema “cruzado” tem o maior potencial de impacto negativo sobre ambiente, com o aumento do grau de compactação do solo, redução da porcentagem de cobertura por palha, incremento da suscetibilidade do solo à erosão e da emissão de C-CO₂ pelo maior consumo de combustível na semeadura. Quando comparado ao arranjo “padrão”, a redução do espaçamento entrelinhas também aumenta as emissões atmosféricas de C-CO₂ pelo maior consumo de combustível, diminui a cobertura do solo com palha após a semeadura e torna o solo mais suscetível à erosão, porém em magnitude inferior ao “cruzado”.

O cruzamento das linhas de semeadura prejudica a qualidade de semeadura, resultando em menor densidade de plantas pelo efeito negativo da 2ª passada sobre a 1ª. Por outro lado, a redução do espaçamento melhora a qualidade de semeadura, com maior uniformidade de distribuição de plantas e densidade mais próxima à definida pela regulação, quando comparada ao sistema “padrão” hoje utilizado.

Referências

ASABE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural machinery management data – ASAE**

D497.4. Saint Joseph: ASABE, 2003.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCOPIO, S. de O.; COSTA, J. M.; KOSINSKI, C. L.; PANISON, F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Espaçamento reduzido e plantio cruzado associados a diferentes densidades de plantas de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 2977-2986, 2015a.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. de O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1215-1226, 2015b.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCOPIO, S. de O.; NEUMAIER, N.; FERREIRA, A. S.; WERNER, F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Semeadura cruzada, espaçamento entre fileiras e densidade de semeadura influenciando o crescimento de duas cultivares de soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, p. 83-93, 2016.

BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J. C.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 132, p. 243-251, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERREIRA, A. S.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; WERNER, F. ZUCARELI, C.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 362-370, 2016.

GOLDCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.;

JORGE, L. A. de C.; SILVA, D. J. da C. B. (Ed.). **SisCob: manual de utilização**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 18 p.

MORAES, M. T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas**. 2013. 205f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, v. 56, p. 377-400, 1993.

PROCÓPIO, S. de O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 4, p. 319-325, out./dez. 2013.

PROCÓPIO, S. de O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente Online**, v. 8, p. 212-221, 2014.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v. 34, p. 33-40, 2004.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. v. 1. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - Brasil (IPNI), 2010. p. 383-420.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

TECNOLOGIAS de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 262 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 15).

TECNOLOGIAS de produção de soja – Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

WALKER, E. R.; MENGISTU, A.; BELLALLOUI, N.; KOGER, C. H.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A. Plant population and row-spacing effects on maturity group III soybean. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 821-826, 2010.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; SILVA, M. A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 734-738, 2016.

Embrapa

Soja

CGPE 13560