

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/331168463>

Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares 1

Article · February 2011

CITATIONS

3

READS

543

9 authors, including:



Telmo Jorge Carneiro Amado
Universidade Federal de Santa Maria

261 PUBLICATIONS 3,706 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vitor Cauduro Girardello
Universidade Federal de Santa Maria

21 PUBLICATIONS 164 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Soraya Castro Trindade
Feira de Santana State University

104 PUBLICATIONS 971 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Soil Carbon [View project](#)



Projeto Aquarius UFSM - Federal University of Santa Maria- Soil department/Agricultural engineering department [View project](#)

Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares¹

Paulo J. Alba³; Telmo J.C. Amado²; Vitor C. Girardello³; Diego S. Schossler³; Tiago A. N. Horbe³; Brian S. Trindade⁴

Introdução

O tráfego controlado tem sido preconizado por cientistas desde a década de 60, porém foi nos últimos 20 anos que o sistema tem sido pesquisado com maior intensidade (Tullberg et al., 2007). Ainda, a partir da década de 90, na Austrália o sistema passou a ser adotado em larga escala pelos agricultores alcançando área superior a 2 milhões de ha (Tullberg et al., 2007). Atualmente, o tráfego controlado também tem sido utilizado na Nova Zelândia, Estados Unidos e Canadá. Especialmente, em regiões onde o volume de precipitação é limitado e, portando, faz-se necessário aumentar a eficiência do uso da água. Gassen (2009) reportou que a precipitação na região produtora de grãos da Austrália é aproximadamente 1/3 daquela do Brasil, gerando uma demanda por produzir mais kg grãos/mm precipitado.

No Brasil as primeiras experiências com tráfego controlado foram na cultura da cana-de-açúcar, provavelmente por ser uma cultura que permanece na mesma área por vários anos, tem elevado valor econômico e, frequentemente, utiliza equipamentos pesados. No RS, o assunto vem sendo debatido em eventos como o Seminário Cooplantio 2010 e em edições da Revista Plantio Direto (Gassen, 2009 – edição 110; Trein et al., 2009 - edição 114; Gassen, 2010 – edição 115). Estas discussões, aliado a disponibilidade de novos equipamentos e tecnologias, estimularam a realização deste trabalho.

O sistema de tráfego controlado consiste em confinar as linhas de tráfego das máquinas agrícolas na menor área possível, denominadas de linhas permanentes, ou seja, criar estradas de rodagem pré-definidas para o deslocamento

das máquinas agrícolas na lavoura. Estas linhas permanentes devem ocupar uma área de 10 a 20% (Tullberg, 2003). Este sistema envolve uma mudança nos princípios de como fazer a agricultura, passando de um tráfego aleatório tradicional para um sistema com planejamento de linhas fixas de rodagem, no qual há o controle de todas as entradas de máquinas no talhão (McHugh et al., 2009). Ainda, Tullberg et al. (2007) e Gassen (2009) afirmaram que a adoção do tráfego controlado, por restringir a compactação aos corredores permanentes, pode proporcionar incrementos da produtividade e sustentabilidade, especialmente em sistemas com ausência ou mínimo revolvimento do solo, como o plantio direto.

As principais vantagens do sistema de tráfego controlado, segundo Tullberg et al., 2007; Li et al., 2007; McHugh et al., 2009; Trein et al., 2009; Gassen, 2009 e 2010 são:

- Redução da compactação aleatória;
- Maior infiltração de água no solo;
- Maior desenvolvimento radicular;
- Maior atividade biológica do solo;
- Maior rendimento operacional das máquinas agrícolas;
- Aumento da eficiência na utilização de fertilizantes e dos nutrientes do solo;
- Maior produtividade das culturas;
- Redução da enxada;
- Economia no uso de diesel;
- Redução da emissão de gases de efeito estufa;
- Controle da erosão.

Atualmente, nas lavouras comerciais destinadas a produção de grãos verifica-se uma tendência de aumento do tamanho e, conseqüentemente, do

¹Parte da dissertação de mestrado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM.

²Professor Doutor do Departamento de Solos UFSM, Pesquisador CNPq e coordenador técnico do Projeto Aquarius. Email: tamado@smail.ufsm.br

³Pós-Graduandos da UFSM, Bolsistas do CNPq e CAPES.

⁴Acadêmico da Agronomia da UFSM, Bolsista de Iniciação Científica.



Figura 1. Determinação da bitola do rodado trazeiro do trator para estabelecimento de linhas de tráfego.

peso das máquinas agrícolas (Tullberg et al., 2007; Trein et al., 2009; Gassen, 2010), acompanhando a escassez e valorização da mão-de-obra rural. Também, verifica-se um incremento no número de intervenções necessárias a proteção de plantas e a intensificação dos cultivos, com produção de safra, safrinha e implantação de culturas de cobertura. Como resultado, o tempo disponível para execução das intervenções é cada vez menor, resultando na operação de máquinas agrícolas frequentemente em condições de umidade do solo excessiva, favorecendo a compactação do solo. Trein et al. (2009) sustentaram que umidade acima de 60% da capacidade de campo já representa risco de compactação do solo. Tullberg et al. (2003) e Gassen (2009) sustentaram que 85 a 95% da compactação ocorre já na primeira passada das máquinas sobre o solo.

As conseqüências da compactação são o aumento da enxurrada e da erosão, perdas de fertilizantes e da matéria orgânica do solo, restrição ao desenvolvimento radicular das culturas, menor volume de solo explorado, maior susceptibilidade a períodos de déficit hídrico, incremento na variabilidade temporal da produtividade e descontinuidade do sistema plantio direto. Neste contexto, o tráfego controlado aplicado às culturas de grãos, pode ser uma importante alternativa de aprimoramento do sistema plantio direto (Gassen, 2010), na mesma linha de pensamento, Tullberg et al. (2007) sustentaram que o tráfego controlado e o plantio direto são sistemas complementares.

Estudo de Caso: Tráfego Controlado no Planalto Médio do RS

O projeto de tráfego controlado está sendo conduzido, desde a safra 2010/11, em uma das áreas pioneiras do Projeto Aquarius (www.ufsm.br/projeto-aquarius), no município de Não-Me-Toque, RS, em área pertencente à Fazenda Anna, de propriedade da família Stapelbroek, manejada sob agricultura de precisão há 11 anos. O talhão escolhido é denominado de Schmidt, possui 125 ha e está localizado nas coordenadas médias de latitude 28° 30' S e longitude 52° 46' W, seguindo o Datum WGS 1984. O solo do local é classificado, segundo Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa, com profundidade média de 1,5 metros e altitude média 471 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical, com precipitação média anual de 1770 mm.

O sistema de orientação utilizado neste projeto foi o Piloto Automático System 150 com precisão centimétrica, utilizando para isso uma estação base RTK ("Real-Time Kinematic" – Correção diferencial em tempo real). O piloto automático foi embarcado tanto no trator como na colhedora automotriz.

Para o desenvolvimento do projeto, foi criada, em uma das extremidades do talhão, uma base para correção em tempo real da localização dos equipamentos. Este sistema permite elevada acurácia, com erro de localização na fai-

xa de 2 a 6 cm (Renschler et al., 2002). O raio de alcance da base instalada é de 5 km em condições normais, porém seu alcance quando instalado em uma torre, com rádio amplificador de sinal, pode alcançar distâncias de até 30 km.

Todas as máquinas agrícolas a partir de novembro de 2010 tiveram sua entrada no talhão rastreada, visando à determinação da área sujeita ao tráfego. Os equipamentos utilizados no experimento foram Trator de 170 cv, semeadora de 11 linhas espaçadas em 0,50 m, pulverizador autopropulsado com 25 m de barras de aplicação, colhedora com plataforma de colheita de milho de 11 linhas e espaçamento de 0,50 m, reboque graneleiro com bitola de ajuste de 3,00 m.

Ajuste de bitolas das máquinas visando a criação de linhas de tráfego permanentes

A etapa de maior complexidade na implantação do sistema de tráfego controlado é o ajuste da bitola das máquinas agrícolas, visando o estabelecimento de um padrão de alinhamento do sistema de rodagem. A bitola de tratores, colhedoras e pulverizadores agrícolas é a distância entre o centro das rodas, seja dianteira ou traseira (Figura 1). Assim, as máquinas devem ter as suas bitolas ajustadas visando possibilitar a coincidência do tráfego, tornando-se uma ferramenta imprescindível para criação das linhas permanentes ("Tramlines").

No primeiro ano do projeto procurou-se fazer um diagnóstico da intensidade de tráfego em uma lavoura de grãos sob sistema plantio direto. Assim, embora se tenha alinhado alguns equipamentos, a bitola dos diferentes equipamentos não era totalmente coincidente, com isto, aproximadamente 70% da área recebeu, durante a safra do milho, alguma pressão de rodado (Figura 2).

Este valor é considerado elevado, porém esta situação é, provavelmente, semelhante a da maioria das lavouras mecanizadas voltadas a produção de grãos no RS. Gassen (2009) reportou que sob preparo convencional a área trafegada seria de 82% e sob plantio direto seria de 46%. De forma semelhante, Tullberg (2008) estimaram que a área trafegada sob plantio direto seria 50%, com a seguinte distribuição: 20% na colheita, 20% na semeadura, 5% nas pulverizações e 5% na logística. Trein et al. (2009) sustentaram que a área trafegada varia de 43 a 75% por estação de cultivo. Difil-

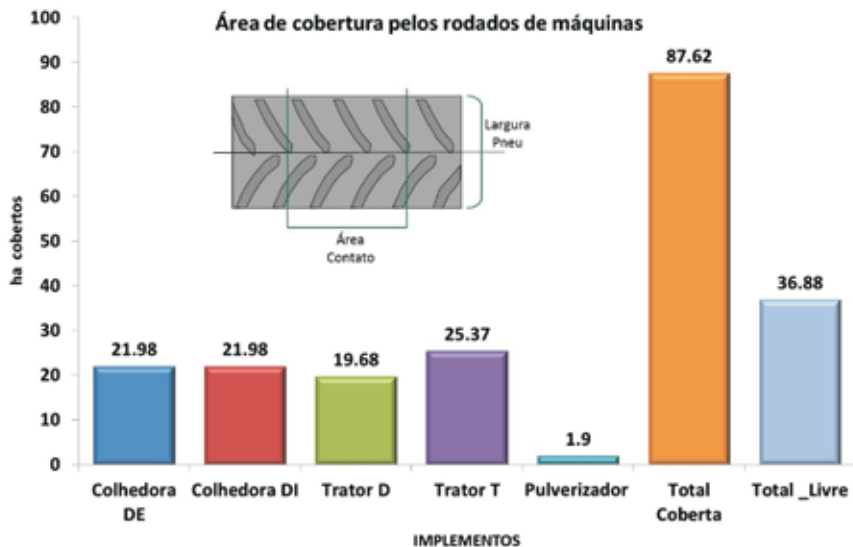


Figura 2. Rastreabilidade de área da lavoura sujeita a pressão de pneus durante a safra de milho 2010/2011. Projeto Aquarius, 2011. DE= pneu dianteiro externo, DI= pneu dianteiro interno, D= pneu dianteiro, T= pneu traseiro.

cimente, com tráfego aleatório a área sujeita a tráfego ficará inferior a 50%. Com relação aos resultados apresentados na Figura 2 observa-se que os dados obtidos neste trabalho, quanto a área trafegada, foram superiores nas operações de colheita e de semeadura em relação ao estudo conduzido na Austrália. Um dos problemas enfrentados nesta primeira etapa da pesquisa foi a dificuldade em alinhar o rodado dianteiro e traseiro do trator. Trein et al. (2009) argumentaram que o sistema de rodas em tandem, ou seja uma atrás da outra, deve ser o preferencial no tráfego controlado. Ainda, em

um estudo mais aprofundado de tráfego faz-se necessário considerar, quando da operação das máquinas agrícolas, o peso dos equipamentos, a área de contato, a pressão dos pneus e a umidade do solo.

Na safra 2011/12, uma das principais medidas que serão adotadas é o ajuste total entre as bitolas das máquinas. Assim, a área sujeita a tráfego será reduzida para apenas 17% da lavoura. Para tanto, a bitola da colhedora será ajustada para 3,0 m, com área de contato dos pneus de 0,60 m (rodado simples). Ainda, será usada plataforma de 25 pés (7,62 m) para colheita de soja e de 15 linhas de 0,50 m (7,50 m) para a colheita de milho, a ser utilizado no programa de rotação de culturas. Neste caso, os rodados dianteiros e traseiros do trator também serão ajustados para bitolas, por exemplo, de 3,0 m (Figura 3), conforme sugerido por Gassen (2009), Trein et al. (2009) e Tullberg (2010).

Neste planejamento, ainda utilizar-se-á uma semeadora de 15 linhas espaçadas de 0,50 m (7,50 m), concluindo o planejamento das máquinas com a configuração do pulverizador, com comprimento total de barras de 22,50 m (múltiplo de três do comprimento da semeadora), sendo que a cada duas passadas de trator com semeadora ou colhedora o pulverizador passa uma vez nas linhas de tráfego planejadas (Figura 5).

Com os ajustes supracitados a área sujeita ao tráfego será reduzida de 70% (condição inicial) para 17% (com tráfego controlado), deixando 83% da lavoura livre de qualquer pressão de pneus. Gassen (2009) estimou que o tráfego controlado reduziria a área sujeita a tráfego para 14%. A utilização deste planejamento, safra após safra, permitirá que o solo melhore a sua estrutura e apresente maior taxa de infiltração de água e menor impedimento ao desenvolvimento radicular.

Resultados Preliminares

Planejamento de linhas de semeadura

Um recente avanço tecnológico são os sistemas GNSS, que é o termo genérico que se refere ao sistema GPS (Americano), Glonass (Russo), Galileo (Comunidade Européia) e Compas-beidou (China e Índia), ainda que os dois últimos ainda não estejam em operação. Os receptores capazes de operar com sinal de vários sistemas ao mesmo tempo compõem

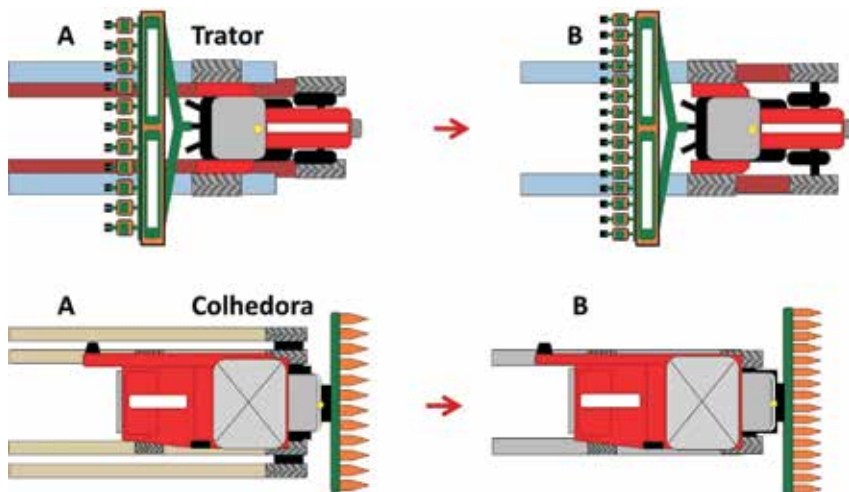


Figura 3. Ajuste dos rodados do trator e da colhedora visando reduzir a área de compactação (A trator e colhedora = 2010/11, B trator e colhedora = 2011/12). Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

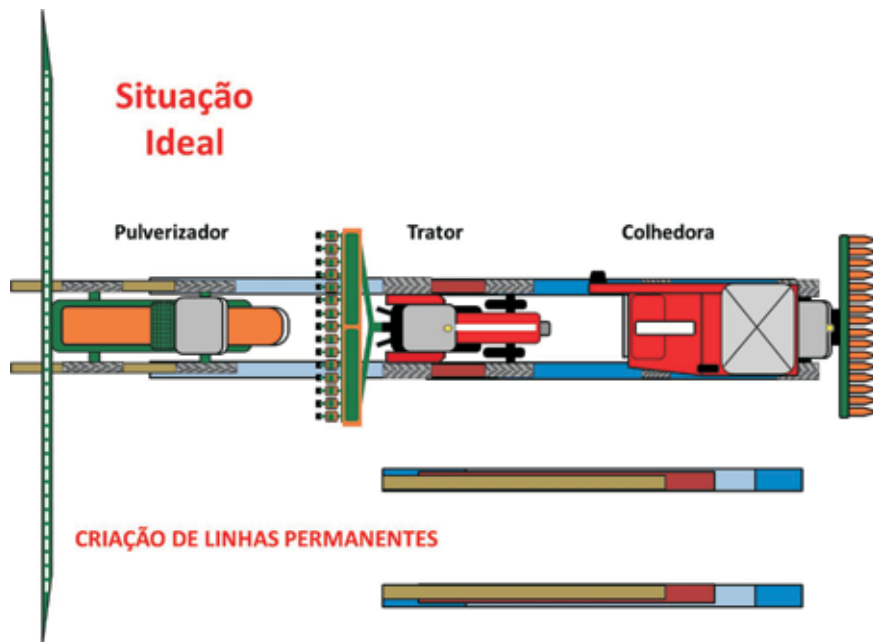


Figura 4. Planejamento da bitola das máquinas visando o confinamento da compactação em linhas permanentes. Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

a nova geração de máquinas agrícolas como tratores, colhedoras e pulverizadores que são equipados com sistemas de piloto automático (direção assistida) para uso em operações agrícolas. A elaboração de um planejamento de tráfego controlado e de linhas de semeadura é, então, facilitado pela utilização de tecnologias modernas, como os sistemas de direcionamento automático guiados por sinal GNSS e sistema de correção de sinal por RTK.

O trabalho iniciou com a obtenção de coordenadas da base, que foram o referencial para todas as operações agrícolas executadas, permitindo a correção de posicionamento pela estação base RTK. Ainda, com auxílio de um SIG (sistema de informações geográficas) é definido o espaçamento entre passadas (no projeto será padronizado para 7,5 m) e criado um arquivo com todas as linhas a serem executadas no talhão, sejam em curvas ou retas e também as linhas de bordadura. Com todas estas informações geradas preliminarmente foi possível, por exemplo, realizar um planejamento conservacionista do talhão com base na declividade da área, de modo que a semeadura em curvas (linhas no sentido transversal a pendente) foi utilizada nas áreas com declividade superior a 6%, que totalizaram 43% do talhão, e para declividade inferior a 6%, correspondendo aos restantes 57%, as linhas foram retas (Figura 5).

Paralelismo de linhas de semeadura

Foi possível planejar a operação de semeadura do milho de modo a fazer a bordadura da lavoura, no final dos trabalhos, evitando a pressão dos pneus em áreas já semeadas, como ocorre normalmente nas operações de semeadura. Outro aspecto importante é o raio de giro dos equipamentos durante as manobras nas extremidades do talhão. Como é possível localizar o início e o final das linhas com acurácia, torna-se possível semear primeiro as linhas ímpares, sempre pulando as linhas pares, como apresentado na Figura 6. Com este procedimento, as manobras nas extremidades da lavoura foram minimizadas, reduzindo a

compactação e o tempo gasto, fato que corrobora para o aumento da eficiência operacional do conjunto mecanizado.

Na análise dos resultados alcançados destaca-se que, embora, o erro na execução das linhas de semeadura curvas tenha sido maior do que nas linhas retas foi possível implantar a cultura do milho com satisfatório paralelismo de linhas (Figura 7). Este fato é relevante, pois confirma a possibilidade do planejamento conservacionista na disposição das linhas de semeadura, visando o controle da enxurrada nas lavouras.

Atributos físicos do solo em áreas sujeitas a diferente intensidade de tráfego

A compactação do solo agrícola, geralmente é um processo antrópico, que envolve a mudança na relação entre a massa e o volume do solo, resultando em aumento da densidade do solo, incremento da resistência a penetração e redução da porosidade total. Em casos mais severos, a compactação afeta negativamente a produtividade das culturas, sendo considerada em nível mundial como a principal causa da degradação da qualidade físico-hídrica dos solos (Imhoff, 2002; Lima, 2006; Trein et al., 2009, Gassen, 2009).

Na Figura 8 pode-se visualizar a macroporosidade de um solo europeu sujeito a diferentes intensidades de tráfego (Schjonning et al., 2009). Através de imagem de tomografia do solo, observa-se a macroporosidade, na camada de 0,20 a 0,40 m, com histórico de 14 anos de tráfego de colhedora (lado direito), comparado com o solo testemunha sem tráfego (lado esquerdo). A continuidade dos macroporos no sistema plantio direto é um fator muito importante para a infiltração de água no solo. McHugh et al.

ALL COMP
Equipamentos de Precisão

GPS BARRA DE LUZ E PILOTO AUTOMÁTICO

MONITOR DE PLANTIO F20

MEDIDOR DE UMIDADE F10

LINHA COMPLETA DE MONITORES

S BOX

COLHEITA PLANTIO PULVERIZAÇÃO

Fone: (51) 2102 7100
www.allcompgps.com.br
comercial@allcompgps.com.br
 Av. Pernambuco, 1207 | Porto Alegre/RS

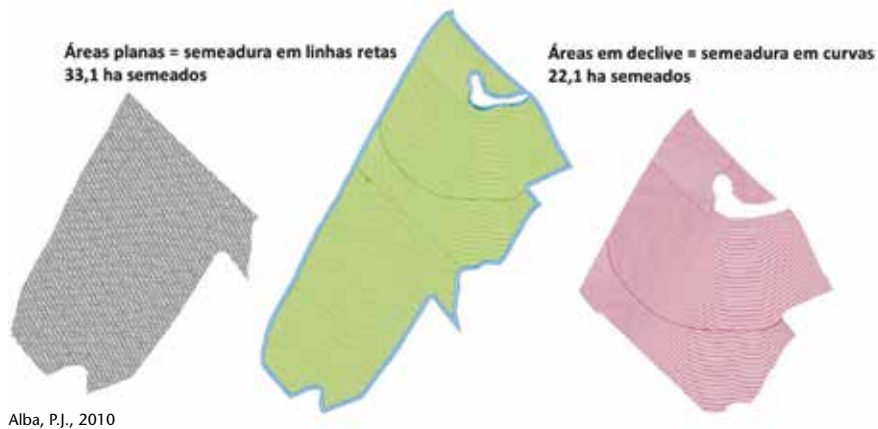


Figura 5. Planejamento das linhas de semeadura do talhão Schimdt separando em linhas retas (sentido da declividade) e linhas curvas (em contorno). Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

(2009) reportaram que os macroporos que eram em um volume muito pequeno na área trafegada aumentaram, em área não trafegada, para 50% na camada 0-0,10 m e 27% na de 0-0,30 m. Acompanhando estes valores, a densidade do solo na área trafegada foi de 1,40 e na área livre de tráfego de 1,25.

Infiltração de água

Considerada um dos melhores indicadores da qualidade física do solo, a infiltração de água congrega diversos

atributos, dentre os quais se destacam: textura, estrutura, macroporosidade, atividade biológica, teor de matéria orgânica, manejo do solo; além de ser um resultado de fácil compreensão por parte de técnicos e produtores. Neste estudo, o objetivo foi investigar o efeito do tráfego de máquinas e equipamentos na infiltração de água no solo, para tanto foi utilizado à metodologia dos duplos anéis concêntricos descrita pela Embrapa (1979). Os testes de infiltração, com duração de 120 minutos, foram realizados antes da semeadura e 27 dias após esta operação, com nove repetições por tratamento investigado.

Os resultados obtidos demonstraram o efeito imediato do tráfego das máquinas no solo, sendo que na condição inicial (anterior ao tráfego) os valores acumulados de infiltração foram cerca de 5 a 15 vezes maiores do que nos tratamentos que apresentaram tráfego intenso (Figura 9). Tullberg (2010) reportou que a infiltração no plantio direto em área não trafegada aumentou em 65% em relação a área trafegada, para chuvas com elevada intensidade ($>80 \text{ mm h}^{-1}$). Por outro lado, Tullberg et al. (2007) reportaram que em áreas trafegadas a enxurrada foi 44% maior do que em áreas livres de tráfego. McHugh et al. (2009) reportaram que transcorridos 22 meses da implantação do sistema de tráfego controlado houve um incremento de 44,5% na água disponível para as plantas, na camada de 0-0,30 m. Li et al. (2007) reportaram que a água disponível para as plantas, nas áreas sem tráfego, aumentou 11,5% correspondendo a uma lâmina de 10 mm na camada de 0-0,50 m, em relação as áreas sujeitas ao tráfego.

Compactação do Solo

A solução para o problema da compactação é complexo. Em casos menos graves pode-se fazer o uso de plantas de cobertura com sistema radicular agressivo, porém em casos de compactação mais severa, também existe a possibilidade do uso de escarificadores e subsoladores, gerando um custo que deve ser bem avaliado, devido ao maior consumo de combustível, decomposição da matéria orgânica do solo, tempo necessário para a operação e desgaste de máquinas e equipamentos, entre outros (Trein et al., 2009).

A utilização de medidas preventivas para evitar a compactação do solo, tais como: rotação de culturas, de cobertura

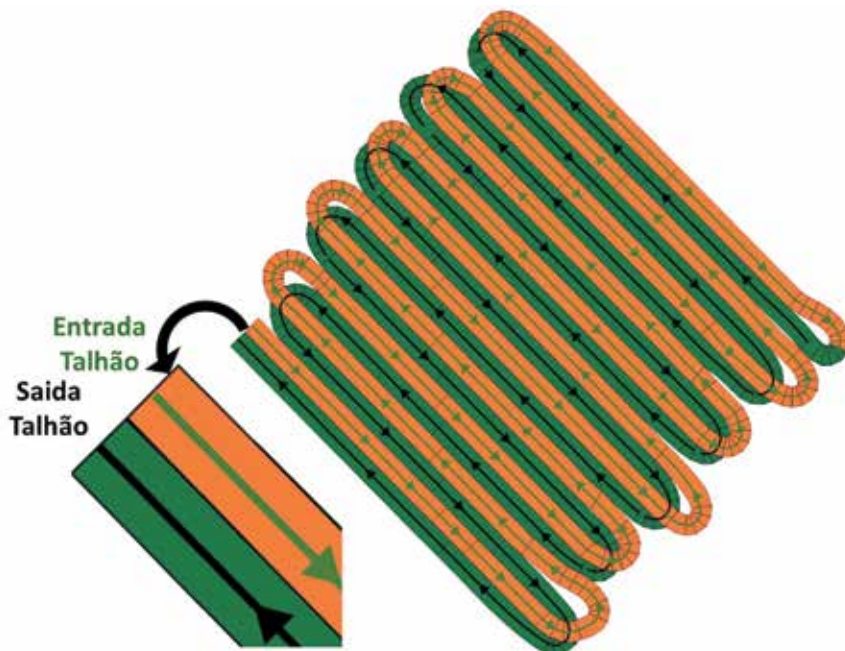


Figura 6. Execução da semeadura seguindo linhas planejadas, alternando as passadas de semeadora entre linhas pares e ímpares visando o mínimo de manobra na área. Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

com sistema radicular agressivo, observação do teor de umidade do solo quando da operação de máquinas agrícolas, manutenção de uma camada espessa de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, uso de pneus de baixa pressão e um programa de tráfego controlado são alternativas eficientes para este fim (Trein et al., 2009).

Laguë et al. (2003), Raper & Kirby (2006) e Gassen (2009) suportaram que para prevenir a compactação de solo faz-se necessário distinguir as áreas destinadas para o desenvolvimento vegetal e crescimento de raízes daquelas para o tráfego de maquinário agrícola. Dessa forma, as linhas de tráfego são, propositalmente, compactadas e podem resistir ao tráfego adicional sem se deformar, tendo como fator positivo a redução da perda de potência oriunda da resistência ao rolamento e patinagem, resultando na melhoria da tração das máquinas (Trein et al., 2009).

Com a formação das linhas de tráfego, o desempenho operacional de máquinas tende a melhorar, Tullberg (2000) reportou que o rendimento operacional incrementou em 30%, resultando na redução da potência requerida, gerando redução do consumo de combustível na ordem de 40 a 50%. Em um estudo realizado na Austrália, pela Aciar (1998), avaliando dois sistemas: cultivo convencional com tráfego aleatório e plantio direto com tráfego controlado foi reportado que o custo com combustível, no segundo sistema, foi reduzindo em 60%. Este fato corrobora para a redução da emissão de gases de efeito estufa associados à produção agrícola (Tullberg, 2010).



Figura 7. Paralelismo de linhas com utilização de piloto automático e com controle manual. Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

Produtividade de milho influenciada por diferentes intensidades de tráfego

Hakansson & Reeder (1994), em um experimento que durou oito anos, atribuíram à compactação do solo um decréscimo médio na produtividade de 2%, após quatro passagens de um trator com peso 10 Mg em um único eixo. Alakukku (1997) reportou que a aplicação de uma carga por eixo de 5 Mg ano⁻¹ ocasionou uma redução de 5% na produtividade da cevada.

Um estudo sobre tráfego controlado nas culturas de milho, trigo e sorgo, realizado pela Aciar (1998), na Austrália,



www.

**sementes
com vigor**
.com



(54) 3231 1132 • 3504 5651

SOJA: Fepag-37, Potência, Força, Apolo, Titan, TURBO e ATIVA
FEIJÃO: Uirapurú e BOLA CHEIA
TRIGO: Quartzo e MIRANTE
AVEIA BRANCA: Tarimba, Taura e GURIA

BR 285 - Km 142 - Vacaria - RS - Brasil
www.sementescomvigor.com.br

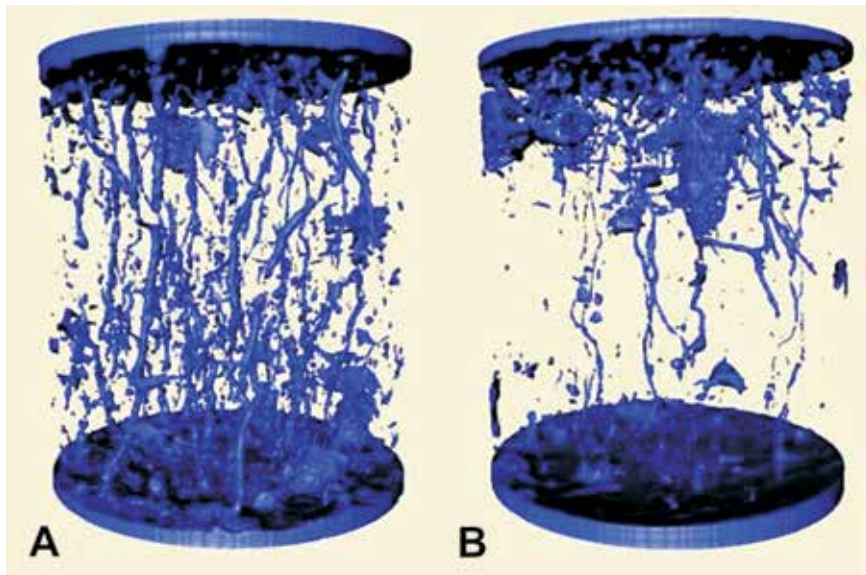


Figura 8. Imagem da macroporosidade, por tomografia computadorizada, da camada de 0,20 a 0,40 m de área livre de tráfego (esquerda) e de área sujeita ao tráfego de colhedora (direita). Fonte: Schjonning et al. (2009).

mostrou que a produtividade média sob tráfego controlado foi 16% superior ao sistema convencional. Li et al. (2007) reportaram no sistema de tráfego controlado um incremento de 9,4% na produtividade de culturas de grão no verão em comparação ao sistema de tráfego convencional. Em um estudo conduzido na Austrália, comparando combinações de dois fatores principais: a) sistema de preparo convencional e plantio direto; e b) tráfego aleatório e sem tráfego, durante 6 anos e 9 safras, reportaram que a eliminação do tráfego foi responsável por um incremento de 10% na produtividade, enquanto a ausência de preparo incrementou em 5%. Neste trabalho, os efeitos do tráfego controlado e do plan-

tio direto foram aditivos, resultando em 23% de incremento na produtividade em relação ao preparo convencional e tráfego aleatório. No entanto, Raper & Kirby (2006) alertaram que, apesar dos benefícios advindos da adoção do sistema de tráfego controlado, o aumento da produtividade depende de inúmeros fatores, com destaque a distribuição de chuvas, tipo de solo e cultura sendo, portanto, bastante variável.

No primeiro ano do projeto de tráfego controlado implantado foi feita a investigação do efeito da intensidade de tráfego na produtividade de milho. Para tanto, foi necessário fazer a colheita manual de quinze pontos com três metros por tratamento (sem x com tráfego de

máquinas) no talhão. Os resultados são apresentados na Figura 10. Na área sem tráfego a produtividade média alcançou 203 sacos ha^{-1} (12.180 $kg\ ha^{-1}$), sendo superior em 11 sacos (660 $kg\ ha^{-1}$) a parcela com tráfego, ou seja, o tráfego foi responsável por um decréscimo em torno de 5,4%. Este resultado está de acordo com o reportado na literatura. A maior diferença média entre os tratamentos investigados alcançou 17 sacos ha^{-1} (1.020 $kg\ ha^{-1}$). Este decréscimo na produtividade sob áreas sujeitas ao tráfego intenso está associado à redução na infiltração, aumento da resistência do solo a penetração e diminuição do volume de macroporos. Deve-se ressaltar que o ano agrícola de condução do experimento foi considerado favorável a cultura do milho, com chuvas regularmente distribuídas, dias quentes e ensolarados que, ainda, foram associados a temperaturas noturnas baixas, de modo que os rendimentos alcançados, sem irrigação, em ambos os tratamentos investigados foram elevados, especialmente se for considerado que o local possui altitude inferior a 500 m.

Considerações Finais

Atualmente com o avanço das tecnologias e ferramentas da agricultura de precisão (GNSS, correção de sinal RTK, piloto automático e SIG) torna-se viável fazer o planejamento e a rastreabilidade do deslocamento das máquinas agrícolas na lavoura. Com isto, é possível planejar a orientação das linhas de semeadura de acordo com a declividade da área, estabelecendo um planejamento conservacionista, executado neste trabalho com o programa CR CAMPEIRO 7 (www.rural.ccr.ufsm.br), que possibilita a elaboração de mapa temático da declividade e do risco de erosão. No projeto de tráfego controlado é possível criar linhas permanentes para o deslocamento das máquinas e proceder ao ajuste da bitola dos rodados, reduzindo a área sujeita a tráfego para menos de 20% da lavoura. Neste caso, nas áreas livres de tráfego observa-se a diminuição da resistência à penetração do solo, manutenção da taxa de infiltração, controle da enxurrada e favorecimento ao desenvolvimento radicular. O tráfego controlado é uma alternativa de aprimoramento do sistema plantio direto em lavoura comerciais contribuindo para a continuidade do sistema sem necessidade de interrupção devido à compactação.

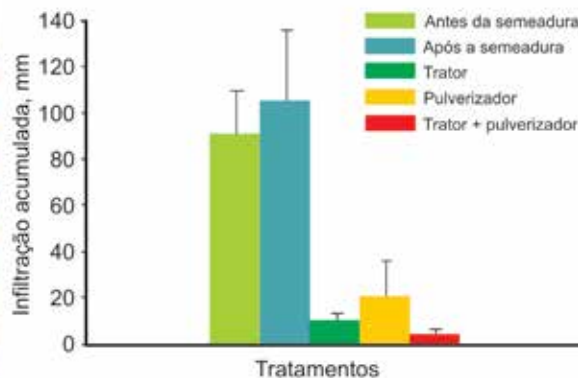


Figura 9. Determinação da infiltração de água no solo com infiltrômetros (esquerda), resultados de infiltração acumulada de água no solo durante 120 minutos (direita) com diferentes intensidades de tráfego de máquinas agrícolas. Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

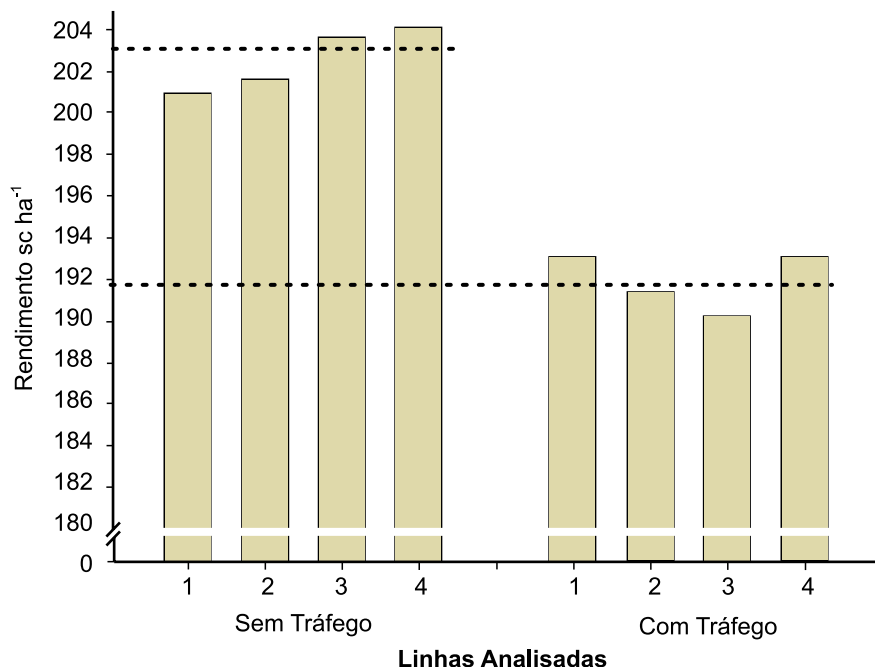


Figura 12. Rendimento de milho em área livre de tráfego e sujeita ao tráfego por diferentes máquinas agrícolas. Fonte: Projeto Aquarius, 2011.

Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas parceiras do Projeto Aquarius pela cessão dos equipamentos, área experimental e colaboração na execução das atividades. Em especial aos Srs. Roberto Strapelbrot, Niumar Aurélio, Gregory Riordan, Cristiano Buss, Edson Pereira, funcionários da Fazenda Anna (Aldino, Toco e Kleder) e ao Dirceu Gassen e a Revista Plantio Direto, pelo estímulo a pesquisa do tema.

Referências Bibliográficas

- ADAMCHUK, V. I.; STOMBAUGH T. S. & PRICE, A. GNSS-Based auto-guidance in agriculture. SSMG Organization 46, no. 605.
- ACIAR. Australian Centre for International Agricultural Research-Project 9209. Conservation tillage and controlled traffic. Canberra, 1998.
- ALAKUKKU, L. Long-term soil compaction due to High Axle Load Traffic. 98 f. Thesis (Ph.D.) - Institute of Crop and Soil Science, Agricultural Research Centre of Finland, Jokioinen, 1997.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1979.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação do solo. 2a ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.
- GASSEN, D. Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação de solos. Rev. Plantio Direto, 110, 2009.
- GASSEN, D. Processos no plantio direto e na produção de grãos. Rev. Plantio Direto, 115, 2010.
- HAKANSSON, I. & REEDER, R.C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response. Soil Till. Res., 29: 277–304, 1994.
- IMHOFF, S.C. Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002. 104p. (Tese Doutorado)
- LAGUË, C.; AGNEW, J. & KHELIFI, M. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled-traffic farming (CTF) using wide-span implements carriers (WSIC) for Canadian agriculture. In: Anual meeting of the CSAE/SCGR, 2003, Montréal, Canada. Proceedings... Montreal, 2003. Paper n.03-233.
- McHUGH, A.D.; TULLBERG J.N. & FREEBAIRN D.M. Controlled traffic farming restores soil structure. Soil Till. Res., 104:164-172, 2009.
- RAPER, R. L. & KIRBY, J. M. Soil compaction: How to do it, Undo it, or Avoid doing it. In: Agricultural equipment technology conference, 2006, Louisville, Kentucky. Proceedings... St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p. 1-14.
- RUBIN, R.B.; SILVA, V.R.; REINERT, D.J & BACH, A.V. Resistência do solo influenciada pelo tráfego e sistemas de cultivos. II Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 4 a 6 de Novembro de 1998, Santa Maria – RS.
- RENSCHLER, C.S.; FLANAGAN D.C.; ENGEL B.A.; KRAMER L.A. & SUDDUTH K.A. Site-specific decision-making based on RTK GPS survey and six alternative elevation data sources. Watershed topography and delineation Society 45:1883-1895, 2002.
- LI, Y.X.; TULLBERG, J.N.; FREEBAIRN, D.M. Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. Soil Till. Res., 282-292, 2007.
- SCHJONNING, P.; HECKRATH, G. & CHRISTENSEN, B.T. Threats to soil quality in Denmark. DJF report plant science. no. 143, 2009.
- TREIN, C.R.; MACHADO, A.P. & LEVIEN, R. Compactação do solo por rodados: podemos evitá-la. Rev. Plantio Direto, 114, 2009.
- TULLBERG, J. N. Traffic effects on tillage draught. J. Agric. Eng. Res., 75:375-382, 2000.
- TULLBERG, J. N.; YULE D. F.; McGARRY D. “On track” to sustainable cropping systems for Australia. ISTRO keynote, 2003.
- TULLBERG, J. N.; YULE D. F.; McGARRY D. Controlled traffic farming — From research to adoption in Australia. Soil Till. Res., 97: 272–281, 2007.
- TULLBERG, J. N. Conservation agriculture, emissions and resilience: Oportunities and Dangers, 2008. (disponível na internet).
- TULLBERG, J. N. Tillage, traffic and sustainability – A challenge for ISTRO. Soil Till. Res., 111:26-32, 2010.