

EMISSIONS OF GASES FROM AGRICULTURAL TRACTOR IN A SOWING OPERATION WITH TRAFFIC CONTROL IN DIFFERENT INTENSITIES

GILVAN MOISÉS BERTOLLO¹, JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER², ROVIAN BERTINATTO³, MARCELO SILVEIRA DE FARIAS⁴, ALFRAN TELLECHEA MARTINI⁵

¹ *Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Santa Helena, Rua Cerejeira, s/n, Bairro São Luís, CEP 85892-000, Santa Helena, Paraná, Brasil, gilvanbertollo@yahoo.com.br.*

² *Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima n°1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, josefernandoschlosser@gmail.com,*

³ *Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima n°1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, engrovian@gmail.com,*

⁴ *Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria Câmpus Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil, silveira_farias@hotmail.com,*

⁵ *Coordenadoria Acadêmica, Universidade Federal de Santa Maria Câmpus Cachoeira do Sul, Rua Ernesto Barros, n° 1345, Bairro Santo Antônio, CEP 96506-310, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, alfrantm@gmail.com*

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar as emissões de gases de trator agrícola, tracionando semeadora com diferentes configurações de sulcadores, em área com intensidades de tráfego controlado e aleatório de máquinas. O trabalho foi desenvolvido em área agrícola localizada no município de Carazinho, RS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados 4 x 3, sendo quatro intensidades de tráfego (tráfego do trator, tráfego do trator e colhedora, tráfego de trator e colhedora e pulverizador e tráfego aleatório) e três configurações de sulcadores (disco duplo em todas as linhas de semeadora, disco duplo nas linhas sem tráfego e haste naquelas que recebem o tráfego e disco duplo nas linhas sem contato de pneu com ausência de sulcadores nas linhas de tráfego). Os gases analisados foram: material particulado (MP), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O). Conclui-se que o tráfego controlado de máquinas na maior intensidade comparado ao tráfego aleatório reduz 6,7% a emissão de gases particulados com disco duplo na semeadora e 30,3% quando as linhas trafegadas não são cultivadas. O tráfego controlado de máquinas, dependendo da configuração dos sulcadores da semeadora, reduz a emissão de óxidos de nitrogênio.

Palavras-chave: gás carbônico, combustível, poluição, combustão, agricultura

GASES EMISSION FROM AN AGRICULTURAL TRACTOR IN A SOWING OPERATION WITH TRAFFIC CONTROL TRAFFIC IN DIFFERENT INTENSITIES

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the emissions of pollutant gases from an agricultural tractor, pulled a seeder with different furrower configurations, in an area traffic intensity controlled area and random machines. The study was developed in an agricultural area located in the municipality of Carazinho, Rio Grande do Sul, Brazil. The experimental design was a 4 x 3 randomized block design, with four traffic situations (tractor traffic, tractor and harvester traffic, tractor and harvester traffic and sprayer and random traffic) and three furrow configurations (double disk in all rows, double disk in the lines without traffic and stem in those that receive the traffic and double disc in the lines without contact of tire with absence of furrowers in the traffic lines). The analyzed gases were: particulate matter (MP), nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂), oxides of nitrogen (NO_x), carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O). It was concluded that the controlled traffic with machines at the highest intensity compared to random traffic reduces the emission of particulate gases with double disc in the seeder and by 30.3% when the trafficked lines were not cultivated.

Keywords: carbon dioxide, fuel, pollution, oxygen, combustion, agriculture

1 INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias nos processos mecanizados é importante para a eficiência econômica e produtiva da agricultura. Atualmente, a maioria das máquinas utilizadas no meio rural são dotadas de motores de ciclo Diesel, devido a sua eficiência e confiabilidade (PERIN et al., 2015). Por outro lado, os motores Diesel produzem maiores emissões quando comparado com os de ciclo Otto, especialmente de óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) (BRIJESH; SREEDHARA, 2013).

Na análise teórica do processo de combustão completa do combustível, os produtos resultantes deste processo seriam apenas água e CO₂, entretanto, isto não ocorre devido às condições transientes do motor de ciclo Diesel (PETRANOVIC et al., 2017). A geração de NO_x, por exemplo, ocorre pela alta temperatura de combustão fazendo com que ocorra a dissociação das moléculas de oxigênio em átomos, e logo após, atacam as moléculas de nitrogênio no ambiente para a formação de NO, sendo a taxa de conversão proporcional à concentração de átomos de oxigênio (MCCORMICK et al., 2001).

As emissões associadas ao uso de energia direta nas operações no campo contribuem, principalmente, aos impactos ambientais negativos como as alterações climáticas e acidificação dos ecossistemas (STRANDDORF; HOFFMANN; SCHMIDT, 2001). Nos últimos 250 anos as concentrações de alguns gases, como o CO₂, aumentaram a níveis críticos.

De acordo com pesquisas realizadas analisando misturas de combustíveis, Perin et al. (2015) concluíram que as emissões provenientes do motor agrícola diminuem com a redução da carga aplicada ao motor. No entanto, percebe-se nos solos agrícolas, uma tendência ao aumento das cargas demandadas ao trator devido aos altos índices de compactação dos solos ocasionados principalmente pelo tráfego de máquinas agrícolas.

Uma alternativa mecânica, para a redução de problemas originados pela compactação das áreas em sistema plantio direto, é o uso ou o aprofundamento da ação

das hastes sulcadoras para deposição de fertilizantes no momento da semeadura (NUNES et al., 2015). Conte et al. (2009), estudando hastes sulcadoras em profundidades de 0,064 e 0,12 m, observaram maior exigência de energia quando foram utilizadas em maior profundidade. No entanto, a operações mais profundas utilizando hastes, influencia no aumento da demanda de energia, exigindo mais força de tração para operações em profundidades maiores (CEPIK et al., 2010).

Outra opção para reduzir o uso de energia é a técnica do tráfego controlado de máquinas devido ao deslocamento dos rodados em áreas trafegadas permanentemente, resultando em menor exigência de energia ao abrir o sulco em áreas com menor compactação ocupadas pelas áreas destinadas ao cultivo das plantas e sem tráfego das máquinas (CHEN; YANG, 2015).

Segundo Roque et al. (2010), a adoção do tráfego controlado de máquinas permite melhorias na estrutura física do solo e redução no consumo de combustível, pois uma maior área de solo não será compactada e apresentará menor resistência à ruptura do solo na passagem de implementos de mobilização, bem como, melhoria na capacidade de tração do trator (relação pneu-solo), o que aumenta o rendimento da tração, consequência do tráfego do maquinário em solo mais firme (linhas de tráfego).

Embora se tenha muitos resultados positivos do tráfego controlado de máquinas, Chen e Yang (2015) comentam que é necessária uma exploração mais profunda sobre o efeito a longo prazo do sistema de tráfego controlado na produtividade, economia de energia, eficiência no seu uso e, também, nas emissões dos gases expelidos pelos motores. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as emissões de gases de um trator agrícola, tracionando semeadora com diferentes configurações de sulcadores, em área com tráfego controlado de máquinas em diferentes intensidades.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Carazinho, RS, em uma área agrícola comercial, que há três anos adota o sistema de

tráfego controlado de máquinas em sistema de plantio direto. O solo é classificado como Latossolo Vermelho, de textura argilosa com topografia levemente ondulada. A área experimental tinha 2,3 Mg ha⁻¹ de matéria seca. O conteúdo de água no solo foi de 22,4%; 20,3%; 21,8%; e 22,8% nas profundidades de 0 - 0,05 m; 0,05 - 0,10 m; 0,10 - 0,15 m e 0,15 - 0,20 m, respectivamente, demonstrando uniformidade da umidade do solo, possivelmente pela boa cobertura vegetal.

O trator agrícola utilizado para tracionar a semeadora-adubadora foi da marca Massey Ferguson, modelo MF 7415 Dyna-6, com tração dianteira auxiliar, fabricado no ano de 2014, com 1.200 horas de uso. Equipado com motor de ciclo Diesel, de quatro tempos, com seis cilindros, 24 válvulas, com volume deslocado de 7.400 cm³ e sobre alimentado por turbocompressor com *intercooler*, com injeção mecânica do combustível. Segundo o relatório de ensaio, sua potência máxima é de 144,1 kW (196 cv) a 2000 rpm, e torque máximo de 893 Nm à 1400 rpm.

O trator possuía massa total de 11.690 kg (114,64 kN), com distribuição de massa estática de 60% sobre o eixo traseiro e 40% sobre o dianteiro. O trator foi operado com pneus diagonais traseiros Firestone 30.5L32 R-1, e pneus diagonais dianteiros Goodyear 18.4-26 R-1, sendo os quatro com 75% de lastragem hidráulica. Acoplada ao trator, foram utilizadas duas semeadoras-adubadoras da marca Semeato, modelo SSM 27, em tandem, configuradas com 52 linhas de semeadura, espaçadas a 0,17 m para a cultura do trigo ou aveia. Para simular uma condição real, foram abastecidas com 2.060 kg de fertilizante nos reservatórios, caracterizando metade da capacidade máxima de carga das semeadoras.

O trabalho foi conduzido em blocos casualizados, em um delineamento estatístico bifatorial, sendo quatro intensidades de tráfego e três configurações de sulcadores, em três blocos, totalizando 36 unidades experimentais, sendo:

- Fator A: tráfego controlado de máquinas, composto pela passagem apenas do trator, caracterizando sua movimentação em área sem tráfego (ST), o qual se deslocou tracionando a semeadora-adubadora fora das

faixas demarcadas para o tráfego. O segundo nível foi caracterizado pela soma da passagem do trator, na operação de semeadura, e do histórico da passagem da colhedora na colheita da soja, caracterizando trator + colhedora (TC). O terceiro nível foi composto pela soma do tráfego do trator na semeadura, do histórico da colhedora, e do pulverizador nos tratos culturais, que totalizaram sete tráfegos, caracterizando trator + colhedora + pulverizador (TCP) e, por último, área com tráfego aleatório (TA).

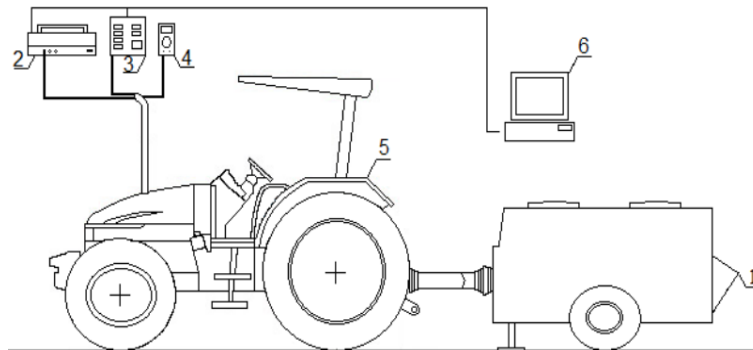
- Fator B: configuração dos sulcadores da semeadora-adubadora, em função das diferentes intensidades de tráfegos existentes no fator A. A configuração inicial foi composta por 52 sulcadores do tipo disco duplo (DD), sendo estes, fixados no mesmo centro de giro, com profundidade de 0,03 m. O segundo nível do fator B foi a associação de disco duplo e haste sulcadora (DDcH), sendo 42 discos duplos e 10 sulcadores do tipo haste, que caracterizavam por coincidir sobre as linhas de tráfego dos rodados das máquinas agrícolas, com profundidade de 0,13 m. Para o terceiro nível, mantiveram-se os 42 discos duplos anteriores, porém foram retiradas as hastes sulcadoras, denominado disco duplo sem haste (DDsH).

Devido a impossibilidade de mensurar as emissões de gases diretamente em campo, foram mensuradas as forças de tração demandadas pelas semeadoras, obtidas por meio de uma célula de carga de 100 kN, instalada entre a barra de tração do trator e o cabeçalho do tandem. Os dados de demanda de tração foram transformados em valores de torque de acordo com a Equação 1:

$$Torque (Nm) = \frac{Potência (kW)}{0,000104719 * rotação (rpm)} \quad (1)$$

O freio dinamométrico utilizado para simular os valores de torque demandados pelas semeadoras é da marca EGGERS, modelo PT 301 MES. Por meio do *software* EGGERS Power Control, foi feito o controle da frenagem e o registro dos dados de torque e rotação do motor, na mesma intensidade demandada pelas semeadoras, nas diferentes situações estudadas, conforme Figura 1.

Figura 1. Representação esquemática da simulação de torque no motor do trator agrícola (1. Freio dinamométrico, 2. Opacímetro, 3. Analisador de gases, 4. Termopar, 5. Trator agrícola, 6. Software gerenciador)



Fonte: Estrada (2015)

A análise dos gases emitidos foi realizada pelo analisador de gases da marca EGGERS, modelo Infrality ELD, que mensurou a concentração de CO₂ (% vol.), O₂ (% vol.), NO (ppm) e NO₂ (ppm). Os valores de opacidade dos gases foram obtidos por meio de um opacímetro, de fluxo parcial, da marca EGGERS, modelo Opacilyt ELD.

As amostras foram coletadas diretamente no escapamento do trator, por meio de uma sonda metálica, conduzindo os gases até os equipamentos para serem analisados. O *software* MW IELD O1030 foi utilizado na análise dos gases e dos materiais particulados.

Antes do início da coleta dos dados, o motor do trator foi aquecido por um período de 20 minutos, no freio dinamométrico. Para isso, o motor foi posto em máxima rotação livre (2.300 rpm) e imposta uma carga equivalente a 75% desta rotação. Para a avaliação do sistema de tráfego controlado em relação ao aleatório,

os dados foram analisados quanto a sua interação, e as médias comparadas pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, considerando o tráfego aleatório como variável testemunha. Foi utilizado o programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes intensidades de tráfego no sistema de tráfego controlado de máquinas ao serem comparadas com o tráfego aleatório pelo teste de Dunnett, demonstram interação e diferença significativa em todas as variáveis analisadas (Tabela 1). Neste trabalho, a combinação de diferentes intensidades e configurações de sulcadores na semeadora em cada situação demonstraram diferença ao ser comparado com o sistema tradicional de tráfego de máquinas.

Tabela 1. Particulados, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e oxigênio para a área sem tráfego (ST), tráfego do trator e colhedora (TC) e tráfego do trator e colhedora e pulverizador (TCP) com a diferença para o tráfego aleatório (TA), nas configurações de sulcador disco duplo, disco duplo com haste e disco duplo sem haste

Tráfego	Sistema sulcador		
	DD	DDcH	DDsH
----- Particulados (g (kW h ⁻¹)) -----			
ST	0,074 *	0,106 *	0,059 *
TC	0,056 *	0,105 *	0,028 *
TCP	0,042 *	0,097	0,023 *
TA	0,045	0,098	0,033
----- Monóxido de nitrogênio (g (kW h ⁻¹)) -----			
ST	2,53 *	2,83	2,48 *
TC	2,47 *	2,86 *	2,42 *
TCP	2,46 *	2,81 *	2,42 *
TA	2,45	2,83	2,44
----- Dióxido de nitrogênio (g (kW h ⁻¹)) -----			
ST	0,166 *	0,107 *	0,172 *
TC	0,174 *	0,105 *	0,176
TCP	0,183 *	0,108 *	0,168 *
TA	0,180	0,115	0,177
----- Óxidos de nitrogênio (g (kW h ⁻¹)) -----			
ST	2,70 *	2,94	2,65 *
TC	2,65 *	2,96 *	2,60 *
TCP	2,64 *	2,92 *	2,58 *
TA	2,63	2,94	2,61
----- Dióxido de carbono (g (kW h ⁻¹)) -----			
ST	323 *	368	316 *
TC	315 *	372 *	309 *
TCP	312 *	366 *	311 *
TA	313	367	312
----- Oxigênio (%) -----			
ST	14,63 *	13,78 *	14,51 *
TC	14,50 *	13,78 *	14,25
TCP	14,38	13,84 *	14,18 *
TA	14,37	13,83	14,25

*Diferem do tráfego aleatório pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Analisando os particulados emitidos pelo motor do trator, e comparando as intensidades de tráfego com o sistema aleatório de movimentação das máquinas, que predomina nas áreas agrícolas, observa-se que todas as intensidades e configurações de sulcadores diferiram do TA pelo teste de Dunnett, com exceção da configuração DDcH no tráfego do TCP, que não diferiu do sistema aleatório (Tabela 1). Verifica-se que as diferenças encontradas nas intensidades de tráfego em relação ao sistema aleatório diferiram com valores superiores e inferiores.

Cabe destacar nestes resultados, que a área ST para todas as configurações de sulcadores e o tráfego do TC para as configurações DD e DDcH apresentaram valores superiores ao TA. De acordo com Bochtis et al. (2010), a implementação de uma prática específica de tráfego em campo pode influenciar as questões ambientais adicionais além daquelas influenciadas pela compactação do solo induzida pelo tráfego, por exemplo, as emissões de diferentes operações em campo.

O material particulado emitido no tráfego controlado foi menor em várias

intensidades e configurações em comparação ao TA. Transformando os dados da Tabela 1 para valores percentuais, verifica-se que a redução das emissões de particulados do TA para TCP foi de 6,7% para DD e 30,3% quando utilizado DDsH.

Esse resultado destaca os benefícios que a orientação da movimentação das máquinas sobre a área pode promover na redução das emissões de particulados pelo motor das máquinas. A maior intensidade de tráfego diferiu pelo teste de Dunnett e merece atenção em relação a técnicas que objetivem reduzir emissões de gases.

O monóxido de nitrogênio (NO) emitido pelo motor do trator diferiu, com valores maiores e menores, em todas as configurações de sulcadores e intensidades de tráfego avaliadas em relação ao TA das máquinas sobre o solo, exceto na configuração DDcH na situação ST que não diferiu do TA (Tabela 1). Os valores positivos que diferiram do TA foram observados na configuração DD em todas as intensidades de tráfego e na configuração DDcH para ST e TC e DDsH apenas na situação ST (Tabela 1).

O NO₂ emitido pelo motor do trator neste trabalho diferiu do TA em todas as intensidades e configurações de sulcadores, exceto na configuração DDsH no TC (Tabela 1). Observa-se também que os valores encontrados foram menores em todas as configurações e intensidades comparando com o tráfego aleatório, exceto na configuração DD no tráfego TCP que apresentou valor positivo (Tabela 1).

As emissões de NO e NO₂ geralmente são representadas, na literatura, por emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x). Cerca de 95% dessas emissões são relativas aos monóxidos e 5% aos dióxidos (PERIN et al., 2015). Neste trabalho, a emissão de NO_x apresentou o mesmo comportamento do NO (Tabela 1), onde observa-se que o tráfego controlado de máquinas, dependendo da configuração de sulcadores utilizadas (DDcH e DDsH para TCP e DDsH para TC), contribuem para redução da emissão de NO_x emitido pelo motor do trator.

O CO₂ emitido pelo motor do trator diferiu em todas as intensidades e configurações, com valores maiores e menores

ao comparar com o TA, exceto no DDcH na situação ST, que não apresentou diferença quando comparado ao TA (Tabela 1). Observa-se valores significativamente menores na intensidade TC com sulcador DDsH e no tráfego TCP em todas as configurações comparando com o TA. Esse resultado é expressivo ao demonstrar a significativa redução da emissão de CO₂ com a utilização do tráfego controlado de máquinas.

O O₂ emitido pelo motor diferiu em todas as intensidades e configurações em relação ao TA, exceto no TC na configuração DDsH e no TCP com DD que apresentaram o mesmo valor do TA, não diferindo pelo teste de Dunnett (Tabela 1). Ao analisar as emissões de gases do motor nas intensidades de tráfegos e configurações de sulcadores, e compará-las ao TA de máquinas sobre o solo, percebe-se redução dos principais gases em decorrência da utilização do tráfego controlado de máquinas, demonstrando que mais estudos devem ser realizados em diferentes áreas e configurações das máquinas, visando consolidar cientificamente as contribuições técnicas e ambientais que podem ser obtidas com o controle da movimentação das máquinas sobre o solo e a correta utilização de sulcadores nas semeadoras.

A implementação de uma prática de tráfego controlado de máquinas no campo pode influenciar questões ambientais adicionais além das observadas nos dados apresentados. Chen et al. (2008) apresentaram um estudo em relação aos efeitos do tráfego controlado de máquinas, em comparação ao tráfego aleatório, sobre o uso de energia para todas as operações e, encontraram redução de 23% do consumo de energia no sistema de tráfego controlado quando comparado ao tradicional.

As emissões de diferentes operações no campo podem reduzir ainda mais com essa técnica ao observarmos, por exemplo, a menor distância percorrida pelas máquinas agrícolas no campo devido a orientação imposta ao entrarem na área (BOCHTIS et al., 2010). Embora se tenha muitos resultados positivos desta ferramenta, Chen e Yang (2015) comentam que é necessária uma exploração mais profunda sobre o efeito a longo prazo do sistema de tráfego controlado na

produtividade, economia de energia, eficiência no seu uso e, também, nas emissões e opacidade dos gases expelidos pelos motores.

A constante pesquisa e estudo na busca de alternativas para a redução de emissão de gases, emitidos pelos motores das máquinas agrícolas, são importantes para melhor eficiência na utilização dos recursos e preservação do meio ambiente. Neste sentido, o tráfego controlado de máquinas mostrou-se eficiente na redução dos principais e mais poluentes gases emitidos pelo motor do trator agrícola.

4 CONCLUSÃO

O tráfego controlado de máquinas na maior intensidade comparado ao tráfego aleatório reduz 6,7% a emissão de gases particulados com disco duplo na semeadora e 30,3% quando as linhas trafegadas não são cultivadas.

A emissão de CO₂ é menor no tráfego controlado de máquinas em relação ao aleatório quando se utiliza disco duplo na semeadora sem o cultivo das linhas trafegadas pelo trator e colhedora e, independente da configuração de sulcadores na maior intensidade de tráfego.

O tráfego controlado de máquinas, dependendo da configuração dos sulcadores da semeadora, reduz a emissão de óxidos de nitrogênio.

5 REFERÊNCIAS

- BOCHTIS, D. D.; SORENSEN, C. G.; MOSHOU, D.; OLESEN, J. Effect of controlled traffic on field efficiency. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 106, n. 1, p. 14-25, 2010.
- BRIJESH, P.; SREEDHARA, S. Exhaust emissions and its control methods in compression ignition engines: a review. **International Journal of Automotive Technology**, Gangnam-gu, v. 14, n. 2, p. 195-206, 2013.
- CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Força de tração e mobilização do solo por hastas sulcadoras de semeadoras-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 561-566, 2010.
- CHEN, H.; BAI, Y.; WANG, Q.; CHEN, F.; LI, H.; TULLBERG, J. N.; MURRAY, J. R.; GAO, H.; GONG, Y. Traffic and tillage effects on wheat production on the Loess Plateau of China. 1. Crop yield and SOM. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, n. 46, p. 645-651, 2008.
- CHEN, H.; YANG, Y. Effect of controlled traffic system on machine fuel saving in annual two crops region in North China Plain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 153, p. 137-144, 2015.
- CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 10, p. 1254-1261, 2009.
- ESTRADA, J. S. **Desempenho e emissões de um motor de trator agrícola operando com misturas de óleo Diesel e etanol**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- MCCORMICK, R. L.; GRABOSKI, M. S.; ALLEMAN, T. L.; HERRING, A. M. Impact of biodiesel source material and chemical structure on emissions of criteria pollutants from a heavy-duty engine. **Environmental Science and Technology**, Berkeley, v. 35, n. 9, p. 1742-1747, 2001.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, p. 119-126, 2015.

PERIN, G. F.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S.; ESTRADA, J. S.; TREICHEL, H.; GALON, L. Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de Diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 12, p. 1168-1176, 2015.

PETRANOVIC, Z.; BESENIC, T.; VUJANOVIC, M.; DUIC, N. Modelling pollutant emissions in diesel engines, influence of biofuel on pollutant formation. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 1038-1046, 2017.

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

STRANDDORF, H.; HOFFMANN, L.; SCHMIDT, A. **Impact categories, normalisation and weighting in LCA**. Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency, 2001. (Environmental News, 78).

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS/STAT**: User's guide: statistics. Versão 8.1.4. Cary: SAS Institute, 2000. v. 2. 1 CD-ROM.