



Condutividade elétrica aparente e resistência do solo a penetração como parâmetros para avaliação da qualidade do solo

Antonio Luis Santi⁽¹⁾; Dejalés Fioresi⁽²⁾; Geomar Mateus Corassa⁽³⁾; Diego Amaro da Silva⁽⁴⁾; Júnior Melo Damian⁽⁴⁾; João Leonardo Fernandes Pires⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Professor do Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais; UFSM, *campus* de Frederico Westphalen, RS; santi_pratica@yahoo.com.br; ⁽²⁾ Estudante do curso de Agronomia; Universidade Federal de Santa Maria; UFSM, *campus* Frederico Westphalen, RS; dejalesfioresi@hotmail.com; ⁽³⁾ Doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola; Universidade Federal de Santa Maria; UFSM, Santa Maria, RS; geomarmateus@hotmail.com; ⁽⁴⁾ Mestrando do programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente; Universidade Federal de Santa Maria; UFSM, *campus* de Frederico Westphalen; RS; damaro.agro@gmail.com; juniormelodamian@hotmail.com; ⁽⁵⁾ Pesquisador; Embrapa Trigo; Passo Fundo, RS; joão.pires@embrapa.br.

RESUMO: A adoção das técnicas da agricultura de precisão (AP) proporciona uma abordagem valiosa para combinar atributos de plantas e do solo, em uma análise conjunta para a tomada de decisão. Diante disso, o trabalho teve por objetivo avaliar a condutividade elétrica aparente e resistência do solo a penetração como parâmetros para avaliação da qualidade do solo. O estudo foi conduzido no município de Boa Vista das Missões, RS, sob um Latossolo Vermelho distrófico típico em uma área de 78,98 ha manejada sob sistema de semeadura direta. As avaliações foram realizadas por ocasião da safra de milho para grão com o híbrido Agroeste AS 1656 Pro2, semeada sobre uma cobertura em consórcio de aveia preta + nabo forrageiro. Para a caracterização dos parâmetros físicos de solo, referentes à resistência do solo a penetração (RP) e a condutividade elétrica aparente (CE), bem como, a matéria seca das forrageiras (MS), realizou-se a vetorização da área experimental, com o auxílio do aparelho de GPS. Posteriormente para proceder à amostragem georreferenciada, confeccionou-se uma malha amostral quadrangular de 70,71 x 70,71 m, resultando em 155 pontos de amostragem. Os dados avaliados foram submetidos a análise estatística descritiva e posteriormente a correlação linear de Pearson. Com os resultados obtidos, constatou-se que a condutividade elétrica e a resistência à penetração podem ser utilizadas em conjunto como ferramentas na avaliação da qualidade do solo em áreas manejadas com a AP.

Termos de indexação: Sistema de plantio direto, agricultura de precisão, manejo *in situ*.

INTRODUÇÃO

No processo de gestão dos sistemas agrícolas, constantemente busca-se integrar novas tecnologias que possibilitem monitorar e interpretar de forma conjunta, os principais fatores que interferem na qualidade do solo (Nikkilä et al., 2010; Flores-

Delgadillo et al., 2011) e, conseqüentemente na resposta em produtividade.

A adoção das técnicas da agricultura de precisão (AP) proporciona uma abordagem valiosa para combinar atributos de plantas e do solo, em uma análise integrada desses parâmetros *in situ* (Diacono et al., 2013). Nesse enfoque, diante da necessidade da caracterização espacial dos atributos de planta e de solo, depara-se com o surgimento de uma série de propostas e sistemas de sensoriamento e monitoramento, com uso de sensores ópticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, mecânicos entre outros (Risso et al., 2012), para elucidar a variação espaço-temporal em áreas agrícolas. Portanto, o trabalho teve por objetivo avaliar a condutividade elétrica aparente e resistência do solo a penetração como parâmetros para avaliação da qualidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma área localizada no município de Boa Vista das Missões, região fisiográfica do Alto Uruguai no Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região, de acordo com a classificação de Maluf (2000), é subtropical com primavera úmida (ST PU), com temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, (Santos et al., 2013), sendo esta área manejada sob sistema de plantio direto (SPD), a mais de dez anos. No presente estudo, a área estava sob cultivo de milho para grão com o híbrido Agroeste AS 1656 Pro2, semeada sobre a cobertura do consórcio de aveia preta + nabo forrageiro.

Para a caracterização dos parâmetros referentes à resistência do solo a penetração (RP) e a condutividade elétrica aparente (CE), bem como a matéria seca das plantas de cobertura (MS), procedeu-se a vetorização da área experimental, com o auxílio do aparelho de GPS de navegação



portátil, marca Garmin®, modelo Legend. A área total após a demarcação do seu perímetro totalizou 78.980,00 m² (78,98 hectares). Para proceder à amostragem georreferenciada, confeccionou-se uma malha amostral quadricular de 70,71 x 70,71 m resultando em 155 pontos de amostragem, utilizando para isso, o programa computacional Sistema CR - Campeiro 7. (Giotto & Robaina, 2007).

A avaliação da RP, foi determinada através de um penetrômetro digital marca Falker modelo PenetroLog PLG1020®, utilizando-se uma haste de 0,40 m, cone com diâmetro de 0,00794 m e ângulo de cone de 30°. Para avaliação da CE, utilizou-se um equipamento de origem importada (sistema protótipo), citado por Rabello et al. (2009), para a leitura a profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm, tendo como metodologia de medida de condutividade elétrica, um sistema de 4 pontos, que utiliza eletrodos que liberam e captam a condutividade após passar pelas profundidades determinadas, ligados ao microprocessador central de fabricação da Microchip Technology. Para caracterização da MS foram coletadas três repetições de 0,25m² em cada ponto amostral, sendo posteriormente secadas, pesadas e quantificadas em Mg.h⁻¹. Ambas as coletas de RP, CE e MS foram a uma distância triangular de 15 metros do centro do grid amostral, utilizando-se o mesmo local para as avaliações. As avaliações de RP, CE e MS ocorreram após a dessecação da planta de cobertura (aveia preta + nabo forrageira) para posterior implantação da cultura do milho. A produtividade (PROD) foi obtida a partir dos dados de armazenados em um monitor de colheita.

A análise dos resultados foi procedida através da análise estatística descritiva, obtendo-se as medidas de posição (mínimo, média e máximo), dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose) e sendo avaliada a hipótese de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (W) (Shapiro & Wilk, 1965). Posteriormente para avaliação da interação entre os parâmetros avaliados, procedeu-se a correlação linear de Pearson. As análises foram realizadas utilizando-se o programa computacional ASSISTAT Versão 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados da análise estatística descritiva dos dados (**Tabela 1**), pode-se observar que apenas a MS e PROD não apresentaram distribuição normal, sendo esta hipótese constatada pelos valores dos coeficientes de simetria e curtose afastados de zero.

O resultado negativo quanto a normalidade dos dados de MS (aveia preta + nabo forrageiro) pode ser explicado pelo fato da sementeira ter sido conduzida além do período ideal, o que culminou pela dessecação prematura, não permitindo o máximo incremento de massa seca e variabilidade espacial deste atributo na área. Já para a PROD, esse resultado corrobora com Silva et al. (2003), onde juntamente ao teor de fósforo, pH e potássio, a produtividade apresenta a maior variabilidade em áreas de lavouras comerciais.

Para a RP os valores observados na camada de 0-10 e 10-20 cm, as médias foram de 1082,9 kPa, e 2766,3 kPa respectivamente, ou seja, aumentou com a profundidade. Paulino et al. (2011), avaliando a resistência a penetração na cana-de-açúcar em áreas com 12 e 20 anos, observaram que limitações iniciaram após 0,10 m, e a partir da profundidade de 0,22 m até aproximadamente 0,36 m, apresentaram as maiores limitações para o crescimento das raízes. Pode-se ainda constatar que para ambas as profundidades, os valores médios foram altos, ficando acima do limite crítico de 2,5 MPa (Camargo & Alleoni, 1997). As leituras nas duas profundidades para RP, também apresentaram correlação positivas.

Nos valores de CE, houve variação em relação as médias de 0-10 cm e 10-20 cm, onde se contactou os valores de 12,12 e 3,93 mS.m⁻¹ das mesmas respectivamente. Os maiores valores de CE na camada de 0-10, denota da maior concentração de nutrientes nessa profundidade, devido principalmente a maior deposição dos mesmos nessa profundidade, o que infere a maior fertilidade superficial verificada no plantio direto. O CV verificado para este parâmetro variou de 19 % a 21,50 % nas camadas de 10-20 e 0-10 cm respectivamente, sendo considerado médio quanto a variabilidade segundo Warrick & Nielsen (1980), indicando que o equipamento apresenta boa precisão e pode ser utilizado para determinar variabilidade espacial da condutividade elétrica em lavouras manejadas com a AP.

A CE nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm não foram influenciadas pela resistência à penetração (RP) de 10-20 cm, porém a CE nas profundidades de 0-10 e CE 10-20 cm apresentaram correlação com a RP na profundidade de 0-10 cm, contudo de ordem negativa (**Tabela 2**). Tavares Filho et al. (2012), avaliando o comportamento espectral da CE de diferentes solos e profundidades, obtiveram resposta variável em função da profundidade do solo, em que os autores atribuem esses resultados, devido à variação da textura ao longo do perfil. Com base nesses resultados, pode-se inferir que



possivelmente a compactação do solo não influencia na leitura do equipamento.

Houve também correlação inversa da RP na profundidade de 10-20 cm com a variável MS. Freddi et al. (2007), verificaram que valores de resistência à penetração variando entre 1,03 e 5,69 MPa provocaram alterações na morfologia do sistema radicular da cultura do milho, reduzindo o desenvolvimento normal da planta e conseqüentemente diminuindo a produtividade, porém, esses valores não impediram totalmente o desenvolvimento radicular. Nesse enfoque, pode-se inferir que o sistema de consorcio utilizado foi sensível a RP quanto ao impedimento físico ao desenvolvimento radicular por parte do solo, sendo esse impedimento não foi suficiente para o impedimento do desenvolvimento do sistema radicular, porém houve a ocorrência da diminuição do acúmulo de MS na parte aérea nessas culturas.

A MS foi influenciada positivamente pela CE na profundidade de 0-10 cm foi correlação positiva com. Com base nisso, Silva et al. (2010), destacam que a condutividade elétrica é um método de avaliação que pode ser correlacionado com o teor de íons na solução do solo e a obtenção de valores inferiores sugere a ocorrência de baixos teores de compostos ou de elementos minerais solúveis em solução, elucidando assim, que nas áreas onde a CE foi maior, houve maior quantidade de nutrientes a disposição para a absorção da planta para o incremento em MS.

A PROD apresentou correlação positiva com CE nas duas profundidades avaliadas (**Tabela 2**). Esse resultado indica que esse parâmetro pode ser útil para delimitação de zonas de manejo diferenciadas dentro do talhão, pois apresenta a vantagem de ser rápido na obtenção de uma grande quantidade de leituras por unidade de área (Alcântara et al., 2012).

CONCLUSÕES

A condutividade elétrica e a resistência à penetração podem ser utilizadas em conjunto como ferramentas na avaliação da qualidade do solo em áreas manejadas com a AP.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M. Produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto. *Revista Agrotecnologia*, 3:62-72, 2012.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

DIACONO, M.; RUBINO, P.; MONTEMURRO, F. Precision nitrogen management of wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, 33:219-241, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FONSECA, J. A. & MEURER, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:47-50, 1997.

FREDDI, O. S., CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N., ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:627-636, 2007.

FLORES-DELGADILLO, L.; FEDICK, S.; SOLLEIRO-ROBOLLEDO, E.; PALACIOS-MAYORGA, S.; DORTEGA-LARROCEA, P.; SEDOV, S.; OSUNA-CEJA, E. A sustainable system of a traditional precision agriculture in a Maya homestead: Soil quality aspects. *Soil & Tillage Research*, 113:112-120, 2011.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. A. Agricultura de precisão com o CR Campeiro 7: manual do usuário. Santa Maria: UFSM, 2007. 319 p.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8:141-150, 2000.

NIKKILÄ, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70:328-336, 2010.

PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II. Características da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15:244-249, 2011

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, R.D.V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 47:1317-1326, 2012.

RABELLO, L. M. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. 1.ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 19p.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V. et al. Esterco de gado leiteiro associado a adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:453-463, 2010.



SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, F. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1013-1020, 2003.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, 52:591-611, 1965.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.;

OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

TAVARES-FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E. Modelling of Soil Penetration Resistance for an Oxisol under No-Tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:89-95, 2012.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 350p.

Tabela 1 - Análise estatística descritiva da resistência do solo a penetração (RP), condutividade elétrica aparente (CE); massa seca das plantas de cobertura (MS) produtividade (PROD). Boa Vista das Missões, 2015.

Variáveis ¹	Parâmetros estatísticos								
	Média	Mín	Máx	Mediana	Desvio Padrão	C.V. ²	Assimetria	Curtose	W ³
-----0-10 cm-----									
RP	1082,9	320,6	2407,4	1075,8	362,0	33,42	0,36	0,21	0,99 ^{ns}
CE	12,12	6,30	18,00	11,93	2,61	21,50	0,25	0,37	0,98 ^{ns}
-----10-20 cm-----									
RP	2766,3	1409,1	3906,6	2793,3	483,5	17,48	-0,30	0,27	0,99 ^{ns}
CE	3,93	2,17	5,80	3,90	0,75	19,00	0,15	0,15	0,99 ^{ns}
MS	1,75	0,72	3,36	1,69	0,45	26,70	0,92	1,40	0,95*
PROD	11649,0	8650,0	15100,0	11450,0	1116,99	9,58	0,90	1,34	0,92*

(¹) RP = resistência a penetração (kPa); CE = condutividade elétrica aparente (mS.m⁻¹); MS = massa seca (Mg.h⁻¹); PROD = produtividade (kg.ha⁻¹),

(²) C.V. = Coeficiente de Variação (%),

(³) Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de p<0,05 e (^{ns}) não significativo. Quando significativo à hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Tabela 2 - Correlação entre resistência a penetração (RP) e condutividade elétrica aparente (CE) nas profundidades avaliadas; massa seca (MS) e produtividade (PROD). Boa Vista das Missões, 2015.

Variáveis ¹	RP 0-10 cm	RP 10-20 cm	CE 0-10 cm	CE 10-20 cm	MS	PROD
RP 0-10 cm	1	0,55**	-0,16*	-0,18*	-0,14 ^{ns}	0,07 ^{ns}
RP 10-20 cm		1	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,17*	0,13 ^{ns}
CE 0-10			1	0,93**	0,20*	0,30**
CE 10-20				1	0,15 ^{ns}	0,27**
MS					1	0,12 ^{ns}
PROD						1

(¹) RP = resistência a penetração (kPa); CE = condutividade elétrica aparente (mS.m⁻¹); MS = massa seca (Mg.h⁻¹); PROD = produtividade (kg.ha⁻¹). Valores de correlação com * e ** são significativos entre si a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de correlação de Pearson e (^{ns}) não significativo.