

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/303519098>

# Plantas de cobertura de inverno e a variação espacial e temporal da resistência do solo a penetração

Article · March 2014

CITATIONS

0

READS

497

8 authors, including:



**Geomar Mateus Corassa**  
Universidade Federal de Santa Maria

33 PUBLICATIONS 173 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Telmo Jorge Carneiro Amado**  
Universidade Federal de Santa Maria

261 PUBLICATIONS 3,712 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Ezequiel Koppe**  
Universidade Federal de Santa Maria

10 PUBLICATIONS 40 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Altamir Bertollo**  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

7 PUBLICATIONS 29 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

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



Efeito do tráfego de um trator com rodado simples e duplo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de manejo [View project](#)



Soil Carbon [View project](#)

# Plantas de cobertura de inverno e a variação espacial e temporal da resistência do solo a penetração

Antônio Luis Santi<sup>1</sup>, Geomar Mateus Corassa<sup>2</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>3</sup>, Ezequiel Koppe<sup>4</sup>, Altamir Mateus Bertollo<sup>5</sup>, Diego Ricardo Menegol<sup>5</sup>, Diego Armando Amaro da Silva<sup>2</sup> e Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>1</sup>

## Introdução

A adoção do sistema plantio direto (SPD) no Brasil proporcionou inúmeras melhorias ao ambiente agrícola, principalmente no que diz respeito à conservação do solo, água e a produtividade das culturas (Santi et al., 2014). No entanto, mesmo com a adoção do SPD, o uso incorreto do solo, muitas vezes associado ao intenso tráfego de máquinas, tem acarretado o aumento do grau de compactação do solo (Collares et al., 2006) a qual é caracterizada pela redução do seu volume quando uma determinada pressão externa é aplicada (Lima et al., 2004). A compactação ocasiona a redução da porosidade total do solo, com diminuição no volume de macroporos e incremento no volume de microporos (Reinert et al., 2007). Segundo Strudley et al. (2008) a compactação do solo apresenta relação direta com o bom desenvolvimento das culturas.

Dentre os atributos físicos que se correlacionam com a compactação do solo, a resistência do solo à penetração (RP) tem sido um dos mais utilizados, pelo fato de ser uma avaliação ágil, sendo determinada para a quantificação do grau de qualidade estrutural adequada ao crescimento de plantas em lavouras cultivadas sob SPD (De Vita et al., 2007).

A RP apresenta relação direta com fatores intrínsecos do solo como: a textura e a umidade do solo. Avaliações de RP permitem identificar ao longo do perfil do solo, quais são as camadas com maior grau de impedimento físico, as quais segundo Reinert et al. (2001) ocorrem principalmente entre 0,08 e 0,15 m de profundidade em SPD. A RP apresenta relação direta e determinante sobre o desenvolvimento das culturas, sendo que maiores valores de RP apresentam alta correlação com a menor elongação e produção de raízes o que reduz a capacidade do sistema radicular de absorver água e nutrientes e consequentemente reduz a capacidade produtiva das culturas (Foloni et al., 2006).

Por outro lado, em virtude da RP estar diretamente relacionada à umidade do solo, a mesma pode mudar rapidamente de uma possível condição limitante para outra não-limitante (Secco et al., 2009). Segundo Cunha et al. (2002) a condição de baixa umidade do solo resulta em maior RP, enquanto que o aumento da umidade, provoca a diminuição da RP, o que exige cuidados quanto a sua determinação a campo e, principalmente, sobre a tomada de decisão.

Neste sentido é cada vez maior o interesse pela quantificação dos

---

<sup>1</sup>Engº Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, UFSM - Frederico Westphalen – RS, Brasil.

<sup>2</sup>Engº Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, UFSM - Frederico Westphalen – RS, Brasil.

<sup>3</sup>Engº Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos, UFSM – Santa Maria – RS, Brasil.

<sup>4</sup>Engº Agrônomo, Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do solo, UFSM – Santa Maria – RS, Brasil.

<sup>5</sup>Engº Agrônomo, Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do solo, UFRGS – Porto Alegre – RS, Brasil.

efeitos da época de avaliação em função da condição de umidade do solo. Além disso, torna-se de fundamental importância verificar o potencial de diferentes culturas, capazes de influenciar ou reduzir os valores de RP no solo. Nicoloso et al. (2008) em estudos conduzidos em um Latossolo Vermelho distroférrico típico, constataram diminuição na RP quando da utilização do consórcio entre nabo forrageiro e aveia-preta. Kubota et al. (2005), também observaram aumento da macroporosidade e da porosidade total em áreas que receberam nabo forrageiro.

A utilização de plantas de cobertura eficientes, permite portanto, que sejam excluídas dos sistemas agrícolas o uso de técnicas não conservacionistas do solo, como por exemplo a escarificação, utilizada com o objetivo de reduzir a compactação do solo. Segundo Santi et al. (2014) a prática de escarificação do solo visando romper camadas compactadas em lavouras, não deve substituir um bom plano de rotação de culturas, com plantas capazes de contornar ou minimizar estes problemas através de seu sistema radicular. Assim, surge a necessidade de quantificar o efeito de sistemas de cobertura economicamente viáveis e compatíveis em planos de rotação de culturas sobre a RP. Segundo Lanzanova et al., (2010) Informações geradas a partir do uso de plantas de cobertura, tanto em cultivos solteiros ou consorciados apresentam-se como valiosas ferramentas, tanto para que sejam comprovados os efeitos de cada espécie, quanto para que sejam solucionados problemas físicos em áreas agrícolas utilizando apenas práticas conservacionistas.

Neste sentido, o trabalho teve por objetivo quantificar a resistência do solo a penetração em diferentes sistemas de plantas de cobertura de inverno e em diferentes épocas de avaliação.

## Materiais e métodos

O trabalho foi desenvolvido em uma área experimental localizada nas coordenadas geográficas 27°23'42"S (latitude) 53°25'44"O (longitude) e pertencente a Universidade Federal de Santa Maria no município de Frederico Westphalen, região fisiográfica do Alto Uruguai no Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é subtropical do tipo Cfa segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluvial anual entre 1.800 e 2.100 mm e temperatura média anual em torno 18 °C (Nimer, 1990). O solo característico do local do experimento pertence à Unidade de Mapeamento Passo Fundo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006). A análise do solo, seguindo a metodologia da Embrapa (1997), apresentou as seguintes características físicas e químicas: 75% de argila; 18% de areia; 7% de silte; pH água de 5,5; 6,1 mg dm<sup>-3</sup> de P (Mehlich<sup>-1</sup>); 103 mg dm<sup>-3</sup> de K; 3,9 cmolc dm<sup>-3</sup> de Ca; 2,1 cmolc dm<sup>-3</sup> de Mg e 3,4% de matéria orgânica.

O trabalho constou da avaliação da resistência do solo a penetração (RP) em 10 diferentes sistemas de cobertura de inverno, implantados em parcelas de 5 x 20 m (100 m<sup>2</sup>). Os sistemas de cobertura utilizados foram: Aveia branca (*Avena sativa* L.); Aveia preta (*Avena strigosa* L.); Azevém (*Lolium multiflorum* L.); Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.); Ervilhaca (*Vicia sativa* L.); Aveia preta + Nabo forrageiro + Ervilhaca; Aveia preta + Nabo forrageiro; Aveia preta + Ervilhaca; Tremoço branco (*Lupinus albus* L.) e Pousio. Os sistemas de cobertura de inverno vinham sendo conduzidos a dois anos e seguindo o esquema de rotação: sistemas de cobertura / Feijão / milho safrinha / sistemas de cobertura, sendo

as avaliações determinadas ao fim do segundo ano de cultivo dos sistemas (setembro e outubro de 2012), até a profundidade de 0,40 m.

A 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 a determinação da RP, cada parcela contendo os sistemas de cobertura de inverno foi dividida em um grid amostral de 2,5 x 2,5 m (18 pontos amostrais por sistema), composto por 3 sub-repetições por ponto totalizando 540 avaliações na área em cada época estudada. As avaliações foram procedidas em três diferentes épocas, as quais foram distribuídas temporalmente em intervalos de aproximadamente duas semanas entre os meses de setembro e outubro de 2012 (Figura 1).

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). Para mensuração da dispersão espacial da RP existente em cada sistema, os valores de coeficiente de variação (CV) foram classificados segundo Warrick & Nielsen (1980), sendo: CV < 12 %, 12 % < CV < 60 % e CV > 60 %, considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. As análises foram realizadas utilizando-se o programa computacional Statistical Analysis System – SAS 8.0. Para a espacialização dos resultados, foram gerados mapas temáticos de RP utilizando-se o software Surfer®. Foram confeccionados ainda, perfis verticais de RP para cada sistema de cobertura de inverno e para as diferentes épocas de avaliação.

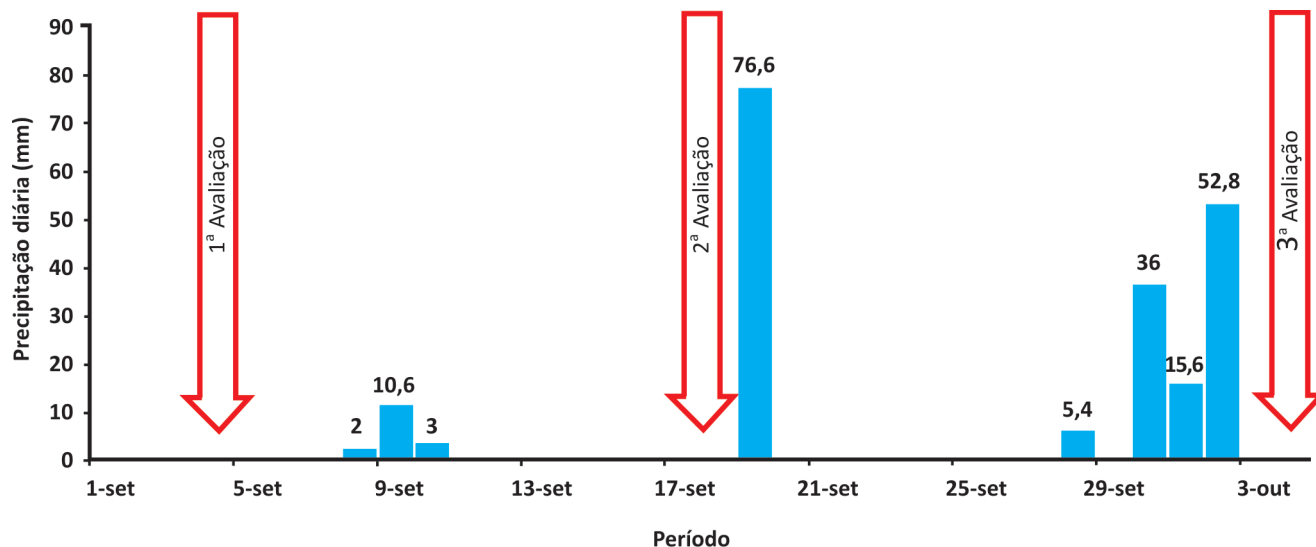


Figura 1. Distribuição pluviométrica diária ocorrida durante o período experimental e épocas em que foram realizadas as avaliações. Frederico Westphalen (RS).

## Resultados e discussão

A partir dos resultados da análise estatística descritiva dos dados é possível evidenciar as diferenças obtidas para a RP tanto entre sistemas de cobertura do solo quanto entre as épocas de avaliação (Tabela 1, 2 e 3). Na primeira avaliação realizada em 04 de setembro os maiores valores de RP (em média), na camada de 0,00 – 0,10m, foram obtidos, respectivamente, nos sistemas que continham aveia branca (1.837,1 kPa), aveia preta (1.737,5 kPa) e pousio (1.464,1 kPa) enquanto que os valores mais inferiores foram obtidos nos sistemas AP+NF+ER (825 kPa), ervilhaca (921,12 kPa) e AP+NF (952,0 kPa) (Tabela 1).

Para a camada de 0,10 – 0,20m os dados seguiram uma tendência semelhante, sendo observados os maiores valores de RP no sistema pousio (7.131,2 kPa), enquanto que os valores mais inferiores foram obtidos novamente para os sistemas contendo AP+NF+ER (5057,1 kPa) e AP+NF (5193,0 kPa) (Tabela 1). Estes resultados evidenciam, portanto, que

os sistemas de cobertura do solo que associem espécies vegetais de sistema radicular denso e vigoroso tendem a contribuir de forma mais significativa para a redução dos valores de RP, acarretados pela compactação do solo. Cabe salientar, no entanto, que para as condições de solo onde o estudo foi conduzido (indícios de elevada compactação) os valores de RP na camada de 0,10 – 0,20m, mesmo com a utilização de sistemas de cobertura, ficaram acima dos limites críticos estipulados pela literatura para Latossolo conduzidos sob sistema plantio direto, os quais variam de 2.000 kPa a 3.500 kPa (Lima et al., 2012, Moraes et al., 2014).

Este resultado indica que os cultivos instalados no local enfrentavam limitações ao crescimento do seu sistema radicular durante o seu período de desenvolvimento. Para a camada de 0,20 – 0,30m os maiores valores de RP foram observados nos sistemas pousio (8.133,0 kPa) e AP+ER (6.807,9 kPa) enquanto que os valores mais inferiores de RP foram observados em sistemas que possuíam o nabo forrageiro como planta de



cobertura, sendo: nabo forrageiro (6.236,2 kPa), AP+NF+ER (6.786,86 kPa) e AP+NF (6.807,9 kPa). Os sistemas contendo somente nabo forrageiro foi responsável por apresentar ainda, os menores valores de RP na cama de 0,30 – 0,40m (5.838,5 kPa) (Tabela 1). Estes resultados demonstram que estes sistemas foram capazes de reduzir os valores de RP, contudo, o estado inicial de compactação do solo local resultou em valores bem acima dos limites críticos, considerados restritivos ao crescimento das plantas.

A 1ª Avaliação foi marcada por altos valores de coeficientes de variação na profundidade de 0,00 – 0,10m que foram superiores a 30% em todos os sistemas avaliados (média de 58% para todos os sistemas), evidenciando uma distribuição espacial desuniforme (Tabela 1). A maior dispersão foi observada nos sistemas nabo forrageiro e ervilhaca, os quais foram classificados como de muito alta variabilidade (Warrick & Nielsen, 1980) e que juntamente com os sistemas AP+NF+ER, AP+NF e AP+ER apresentaram distribuição não normal dos dados, confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk (W) (Shapiro & Wilk, 1965) (Tabela 1).

Os resultados demonstram que os sistemas que em média favoreceram a obtenção de menores valores de RP, logicamente contribuíram para o aumento da sua variação espacial. As demais profundidades avaliadas não evidenciaram tal dispersão, apresentando coeficientes de variação médios de 23% (0,10 – 0,20m), 15% (0,20 – 0,30m) e 16,5% (0,30 – 0,40m), sendo que todos os sistemas apresentaram dados classificados como normais (Tabela 1).

Isso demonstra que a camada superficial, onde ocorre a maior concentração de raízes pelas plantas, é a que mais sofre influência e que os resultados observados nestas profundidades merecem muita atenção quando da sua interpretação, devendo

sempre considerar o sistema de cultivo anterior, o qual interfere diretamente sobre os valores de RP e em maior grau na profundidade de 0,00 – 0,10m. Além disso, é importante ressaltar que em avaliações de RP em áreas de produção e que utilizam a média de um ponto amostral para representar uma área específica (como é o caso de amostragens em agricultura de precisão), preconizam a utilização de um número significativo de sub-amostras, o que torna o ponto representativo do local e evita interpretações equivocadas.

A 2ª Avaliação, procedida 14 dias após a primeira, promoveu mudanças em relação aos dados da avaliação anterior, sendo que, o valor médio de coeficiente de variação obtidos para os sistemas na profundidade de 0,00 – 0,10m foi de 31,6% (Tabela 2). Nesta avaliação a dispersão dos dados foi bem abaixo em relação a condição imposta pela primeira avaliação, sendo os valores de coeficiente de variação considerados como de média variabilidade (Warrick & Nielsen, 1980).

Ao se considerar o efeito de plantas de cobertura sobre a criação de poros biológicos, que apresentam

altos benefícios e funcionalidades ao solo, estes valores podem ser considerados dentro de um limite de aceitação. Para as demais profundidades avaliadas o coeficiente de variação foi de 14% (0,10 – 0,20m), 16% (0,20 – 0,30m) e 19% (0,30 – 0,40m) (Tabela 2).

Nesta 2ª avaliação, realizada 7 dias após um acumulado de aproximadamente 15mm de precipitação (Figura 1), os sistemas de cobertura que apresentaram os maiores valores de RP na profundidade de 0,00 – 0,10m foram o pousio (3.382,9 kPa), azevém (3.363,2 kPa) e ervilhaca (3.957,2 kPa) enquanto que os menores valores foram obtidos para os sistemas que continham AP+ER (2037,1 kPa) e AP+NF+ER (2152,6 kPa). Considerando-se 3.500 kPa como limite onde ocorrem restrições mais pronunciadas ao crescimento e desenvolvimento radicular (Moraes et al., 2014), pode-se constatar que na profundidade de 0,00 – 0,10m apenas o sistema ervilhaca estaria com valores acima dos limitantes, enquanto que os sistemas de pousio e azevém estariam bastante próximos (Tabela 2). Na profundidade de 0,10 – 0,20m, os resultados

**Solução ideal para Sistematização e Agricultura de Precisão**

**Curva de Nível e Sistematização a Laser**

**Curva de Nível**

- Reduz fadiga do operador
- Longo alcance do laser

**Sistematização**

- Correção de micro relevo
- Rapidez e eficiência c/ precisão

**Agricultura de Precisão**

- Barra de Luzes Outback S-Lite
- Mapeador Outback S<sup>ts</sup>
- Piloto Automático
- Medidor de Umidade



Telefone: (51) 2102 7100

Av. Pernambuco, 1207 | Porto Alegre/RS | agricultura@allcompgps.com.br | www.allcompgps.com.br



**Tabela 1.** Análise estatística descritiva da resistência do solo a penetração na 1ª avaliação (04 de setembro) para os diferentes sistemas de cobertura do solo e nas diferentes profundidades.

Sistemas de cobertura <sup>(1)</sup>	Parâmetros estatísticos							
	Mínimo	Máximo	Média	DP <sup>(2)</sup>	CV	Cs	Ck	W <sup>(3)</sup>
<i>Profundidade 0,00 - 0,10 m</i>								
Aveia Preta	230	3870	1737,5	952,3	54,8	0,23	-0,28	0,96 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	488	4056	1837,1	1040,8	56,6	0,62	-0,20	0,93 <sup>ns</sup>
Azevém	455	3212	1541,6	851,4	55,2	0,65	-0,88	0,90 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	180	4209	1109,7	1021,4	92,04	1,83	3,40	0,79*
Ervilhaca	207	3028	921,12	822,12	89,25	1,53	1,39	0,76*
AP+NF+ER	276	1947	825,6	505,04	61,17	0,93	-0,10	0,88*
AP+NF	358	1534	952,0	424,80	44,62	0,06	-1,61	0,89*
AP+ER	462	2236	1008,4	483,69	47,96	1,63	2,51	0,82*
Tremoço	435	2366	1204,4	469,9	39,02	0,58	0,55	0,94 <sup>ns</sup>
Pousio	603	2609	1464,1	637,83	43,54	0,37	-1,23	0,92 <sup>ns</sup>
Média	369,4	2906,7	1260,1	720,9	58,42	-	-	-
<i>Profundidade 0,10 - 0,20 m</i>								
Aveia Preta	3434	8232	6298,1	1292,2	20,5	-0,23	-0,34	0,96 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	3328	9995	6318,3	1589,4	25,1	0,30	0,69	0,96 <sup>ns</sup>
Azevém	3704	7496	5972,9	1182,2	19,8	-0,49	-0,68	0,92 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	4020	8222	5691,0	1197,8	21,04	0,61	-0,67	0,92 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	2722	8386	5685,3	1576,7	27,73	-0,06	-0,53	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	2356	7595	5057,1	1485,4	29,37	-0,05	-0,52	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF	3258	7700	5193,0	1337,6	25,75	0,19	-0,98	0,94 <sup>ns</sup>
AP+ER	3881	8417	6006,7	1340,8	22,32	0,17	-0,82	0,96 <sup>ns</sup>
Tremoço	3953	7815	6002,1	1168,3	19,46	-0,26	-0,71	0,95 <sup>ns</sup>
Pousio	4550	10254	7131,2	1394,9	19,55	0,21	0,43	0,96 <sup>ns</sup>
Média	3520,6	8411,2	5935,6	1356,5	23,0	-	-	-
<i>Profundidade 0,20 - 0,30 m</i>								
Aveia Preta	5865	9067	7166,2	855,6	11,9	0,63	0,17	0,95 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	5432	11171	7350,3	1284,6	17,4	1,30	3,15	0,91 <sup>ns</sup>
Azevém	5411	9434	7569,	1133,7	14,9	0,08	-0,6	0,96 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	5085	8133	6236,2	770,65	12,3	0,76	0,47	0,95 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	5671	9058	7379,4	1029,9	13,9	-0,35	-0,98	0,94 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	4667	9192	6786,7	1228,6	18,1	-0,05	-0,19	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF	4634	8858	6807,9	1271,7	18,6	0,03	-1,32	0,94 <sup>ns</sup>
AP+ER	6004	11123	8265,5	1276,2	15,4	0,34	0,13	0,96 <sup>ns</sup>
Tremoço	5761	8866	7403,9	899,4	12,1	-0,15	-0,44	0,96 <sup>ns</sup>
Pousio	5860	10560	8133,0	1276,7	15,6	-0,005	-0,46	0,97 <sup>ns</sup>
Média	5439	9546,2	7309,8	1102,7	15,0	-	-	-
<i>Profundidade 0,30 - 0,40 m</i>								
Aveia Preta	4892	8841	6638,2	1036,9	15,6	0,48	0,06	0,97 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	5232	10870	7248,3	1480,1	20,4	0,90	0,57	0,93 <sup>ns</sup>
Azevém	5725	9481	7415,0	938,6	12,6	0,10	0,02	0,98 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	4609	6942	5838,5	575,23	9,8	0,10	0,13	0,97 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	5212	7635	6492,4	775,41	11,9	-0,28	1,08	0,93 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	4521	8138	6403,2	985,57	15,3	0,23	-0,44	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF	4501	8711	6062,7	1089,2	17,9	0,57	0,23	0,95 <sup>ns</sup>
AP+ER	4838	9984	7808,4	1548,9	19,8	-0,51	-0,57	0,93 <sup>ns</sup>
Tremoço	4949	9492	6925,5	1312,2	18,9	0,39	-0,59	0,96 <sup>ns</sup>
Pousio	4407	10520	7393,5	1732,9	23,4	0,16	-0,75	0,95 <sup>ns</sup>
Média	4888,6	9061,4	6822,5	1147,5	16,5	-	-	-

(1) AP+NF+ER = Aveia preta + Nabo forrageiro + Ervilhaca; AP+NF = Aveia preta + Nabo forrageiro e AP+ER = Aveia preta + Ervilhaca.

(2) DP = Desvio Padrão; CV= Coeficiente de variação; Cs= Assimetria; Ck = Curtose.

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

**Tabela 2.** Análise estatística descritiva da resistência do solo a penetração na 2ª avaliação (18 de setembro) para os diferentes sistemas de cobertura do solo e nas diferentes profundidades. Frederico Westphalen (RS).

Sistemas de cobertura <sup>(1)</sup>	Parâmetros estatísticos							
	Mínimo	Máximo	Média	DP <sup>(2)</sup>	CV	Cs	Ck	W <sup>(3)</sup>
<i>Profundidade 0,00 - 0,10 m</i>								
Aveia Preta	1256	4410	2607,3	979,8	37,5	0,50	-1,08	0,92 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	906	3933	2551,3	785,2	30,7	-0,09	-0,09	0,98 <sup>ns</sup>
Azevém	1081	5584	3363,2	1208,7	35,9	0,26	-0,16	0,95 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	1559	5370	2739,5	817,3	29,8	1,69	5,00	0,85*
Ervilhaca	1795	7277	3957,2	1343,8	33,9	0,97	0,94	0,93 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	805	3907	2152,6	803,4	37,3	0,64	-0,01	0,94 <sup>ns</sup>
AP+NF	1430	5295	3090,0	1060,9	34,3	0,47	-0,47	0,96 <sup>ns</sup>
AP+ER	972	3046	2037,1	522,0	25,6	-0,14	-0,20	0,99 <sup>ns</sup>
Tremoço	1890	4164	3111,3	581,8	18,7	-0,06	-0,37	0,98 <sup>ns</sup>
Pousio	1838	5821	3382,9	1103,2	32,6	0,34	-0,48	0,95 <sup>ns</sup>
Média	1353,2	4880,7	2899,2	920,6	31,6	-	-	-
<i>Profundidade 0,10 - 0,20 m</i>								
Aveia Preta	4162	7297	5638,3	908,9	16,1	0,09	-0,91	0,97 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	4576	7252	5846,6	738,8	12,6	0,12	-0,42	0,97 <sup>ns</sup>
Azevém	4716	9303	7754,8	1099,8	14,1	-1,13	1,69	0,91 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	4879	7527	6216,6	647,4	10,4	0,18	0,41	0,94 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	6539	11065	7924,1	1162,0	1,31	1,20	1,31	0,88*
AP+NF+ER	4422	8175	5939,4	1041,4	17,5	0,76	0,38	0,93 <sup>ns</sup>
AP+NF	4252	8703	6690,5	1339,4	20,0	-0,23	-0,95	0,95 <sup>ns</sup>
AP+ER	4405	7874	6123,3	1177,3	19,2	0,20	-1,23	0,91 <sup>ns</sup>
Tremoço	4497	8263	7062,4	831,7	11,7	-1,53	3,70	0,88*
Pousio	5058	8964	7057,6	1209,6	17,1	-0,26	-1,19	0,94 <sup>ns</sup>
Média	4750,6	8442,3	6625,3	1015,6	14,0	-	-	-
<i>Profundidade 0,20 - 0,30 m</i>								
Aveia Preta	4945	7248	5857,3	544,0	9,2	0,82	0,90	0,95 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	5060	8446	6548,6	1016,3	14,5	0,48	-0,90	0,94 <sup>ns</sup>
Azevém	5256	10134	7827,0	1367,9	17,4	-0,02	-0,08	0,97 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	5374	7872	6221,4	665,3	10,6	0,83	0,52	0,93 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	5218	10328	7214,1	1307,8	18,1	0,87	0,55	0,93 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	4770	8171	6124,4	940,3	15,3	0,62	-0,18	0,94 <sup>ns</sup>
AP+NF	3899	9215	6293,2	1603,7	25,4	0,35	-1,03	0,94 <sup>ns</sup>
AP+ER	5079	8232	6859,8	975,6	14,2	-0,11	-1,21	0,93 <sup>ns</sup>
Tremoço	5289	8811	6910,4	1104,8	15,9	-0,88	0,32	0,93 <sup>ns</sup>
Pousio	4690	9834	7205,3	1432,9	19,8	0,45	-0,39	0,94 <sup>ns</sup>
Média	4958	8829,1	6706,1	1095,8	16,0	-	-	-
<i>Profundidade 0,30 - 0,40 m</i>								
Aveia Preta	3419	5680	4539,2	635,6	14,0	0,39	-0,61	0,97 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	4432	7241	5999,3	781,9	13,0	-0,14	-0,59	0,97 <sup>ns</sup>
Azevém	4524	8468	6731,2	1266,2	18,8	-0,46	-0,94	0,92 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	3406	7192	5812,9	956,3	16,4	-0,78	0,87	0,94 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	2890	7126	5278,0	1133,9	21,4	-0,26	-0,52	0,97 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	4300	6541	5337,0	667,0	12,4	0,25	-0,8	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF	3108	9152	6232,5	1644,4	26,3	-0,05	-0,76	0,96 <sup>ns</sup>
AP+ER	5250	8892	6646,3	1171,2	17,6	0,32	-1,06	0,90 <sup>ns</sup>
Tremoço	3041	8955	6027,6	1695,1	28,1	-0,06	-0,94	0,96 <sup>ns</sup>
Pousio	3441	10139	7036,5	1954,8	27,7	-0,15	-0,47	0,96 <sup>ns</sup>
Média	3781,1	7938,6	5964,0	1190,6	19,5	-	-	-

(1) AP+NF+ER = Aveia preta + Nabo forrageiro + Ervilhaca; AP+NF = Aveia preta + Nabo forrageiro e AP+ER = Aveia preta + Ervilhaca.

(2) DP = Desvio Padrão; CV= Coeficiente de variação; Cs= Assimetria; Ck = Curtose.

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



foram semelhantes aos da camada superficial com o sistema ervilhaca e azevém apresentando os maiores valores, sendo 7.924,1 kPa e 7.754,8 kPa, respectivamente (Tabela 2). Para a profundidade de 0,20 – 0,30m a tendência entre os sistemas permaneceu, estando os maiores valores nos sistemas ervilhaca (7214,1 kPa) e azevém (7827,0 kPa) (Tabela 2). De modo geral os resultados observados nesta 2ª avaliação para as profundidades iniciais, foram superiores aos observados na 1ª avaliação, sugerindo que mesmo com o acumulado de aproximadamente 15 mm entre um período e outro, a umidade do solo (fator não determinado neste estudo, a fim de simular uma situação de um prestador de serviço ou produtor rural procedendo avaliações a campo) tenha sido inferior para a 2ª avaliação. Além disso, a primeira avaliação pode ter sido beneficiada pela presença dos restos culturais dos sistemas de cobertura que ainda permaneceriam nas parcelas, o que pode ter contribuído para a manutenção da umidade no solo.

A 3ª Avaliação foi realizada após um período de elevadas precipitações pluviométricas que culminaram em um acúmulo aproximado de 154mm entre a 2ª a 3ª avaliação (Figura 1). Além disso, a 3ª avaliação foi procedida 48h após um acumulado de 77mm, estando o solo próximo de sua capacidade de campo (CC). Nesta avaliação foram observados os maiores valores de coeficiente de variação, superiores inclusive a 1ª avaliação.

Na profundidade de 0,00 – 0,10m o coeficiente de variação foi classificado como de muito alta variabilidade (Warrick & Nielsen, 1980), apresentando valores médios de 94,3% entre os sistemas avaliados. Estes elevados valores de CV já vem sendo descritos na literatura e tendem a ocorrer quando o solo apresenta condições de muito alta ou muito baixa umidade (Silveira et al., 2010). Deste modo é importante

considerar que alterações no conteúdo de água no solo determinam grandes variações na RP, o que foi confirmado pelas diferentes épocas de avaliação. Nesta mesma profundidade (0,00 – 0,10m), com exceção do nabo forrageiro, todos os sistemas apresentaram valores elevados de assimetria e curtose, o que culminou em distribuição não normal dos dados (Tabela 3).

Este fato determina a necessidade de atenção quando se trabalham com informações dessa natureza e indica a validade da média como medida de tendência central de um conjunto de dados (Silveira et al., 2010). Nas demais profundidades o CV foi classificado como de média variabilidade, estando com valores bem abaixo aos da camada superficial (Tabela 3). Esta ampla variação, ocorrida em função da elevada precipitação ocasionou redução dos valores de RP ao se comparar a 3ª avaliação com as demais, independente do sistema de cobertura. Esta redução foi mais pronunciada nas camadas superficiais (0,00 – 0,10m e 0,10 – 0,20m). Este fato acabou distorcendo as informações ao ponto de que para profundidade de 0,00 – 0,10m em nenhum sistema de cobertura foram observados valores de RP considerados limitantes ao crescimento das plantas, muito diferente do que vinha sendo observado nas demais épocas de avaliação.

O maior valor de RP nesta profundidade foi observado para o pouso (1.291,6 kPa), o que também ocorreu para a profundidade de 0,10 – 0,20m (5.993,2 kPa) possivelmente pela ausência de cobertura, que proporcionou uma maior perda de umidade. Além da ampla variação e dos valores médios serem reduzidos nas duas primeiras profundidades, boa parte das tendências que vinham sendo observadas para os sistemas de coberturas nas demais avaliações não mais ocorreram para esta 3ª época de avaliação. Segundo Vaz et al. (2002) grandes diferenças

de umidade no solo podem causar variações nos valores de RP da ordem de 5.000 kPa.

Estes resultados podem ser também observados através de mapas temáticos de RP e considerando os sistemas de cobertura, profundidades e épocas de avaliação (Figura 2).

Uma tendência importante demonstrada pelos mapas temáticos é a diminuição da variabilidade na área, no perfil do solo, com o passar do tempo. É possível visualizar as diferenças discutidas anteriormente em função dos sistemas de cobertura, destacando a contribuição de sistemas consorciados e dos sistemas que continham o nabo forrageiro como planta de cobertura. Estes dados foram constatados para a 1ª e para 2ª avaliação e principalmente nas camadas superficiais (0,00 – 0,10m e 0,10 – 0,20m).

Além disso, é possível verificar na 2ª avaliação que os sistemas com ervilhaca e azevém apresentam valores de RP superiores aos demais sistemas nas profundidades de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30m (Figura 2), relacionados possivelmente a menor área de exploração do solo pelo seu sistema radicular e/ou menor produção de resíduo nesse ano o que levou a menor retenção de umidade. Estas tendências também são evidenciadas ao se analisar os perfis verticais de RP obtidos entre os diferentes sistemas e épocas de avaliação (Figura 3).

As figuras 2 e 3 evidenciam de forma mais clara os dados obtidos pela análise descritiva dos dados (Tabela 1, 2 e 3) em relação as três épocas de avaliação, ficando notório a redução da RP da 1ª e 2ª para a 3ª avaliação em função da precipitação ocorrida. Estes resultados reforçam dados já citados, de que existe uma relação muito estreita entre o teor de água no solo e a RP. Recomendações existentes atualmente vêm indicando, portanto, que para potencializar e proporcionar um melhor provei-

**Tabela 3.** Análise estatística descritiva da resistência do solo a penetração na 3ª avaliação (04 de outubro) para os diferentes sistemas de cobertura do solo e nas diferentes profundidades. Frederico Westphalen (RS).

Sistemas de cobertura <sup>(1)</sup>	Parâmetros estatísticos							
	Mínimo	Máximo	Média	DP <sup>(2)</sup>	CV	Cs	Ck	W <sup>(3)</sup>
<i>Profundidade 0,00 - 0,10 m</i>								
Aveia Preta	106	2494	726,1	609,0	83,8	1,23	2,30	0,89*
Aveia Banca	153	1280	338,6	358,6	105,9	1,21	0,99	0,85*
Azevém	125	1518	439,1	387,0	88,1	1,42	1,96	0,87*
Nabo Forrageiro	218	1795	701,9	512,4	73,0	0,46	-0,61	0,95 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	108	2877	621,8	660,1	106,5	2,41	7,04	0,74*
AP+NF+ER	123	1729	413,7	427,7	103,3	1,80	3,82	0,82*
AP+NF	103	2293	468,0	557,4	119,1	2,06	5,24	0,78*
AP+ER	101	1814	546,8	504,5	92,2	0,96	0,33	0,89*
Tremoço	138	1994	585,2	506,1	86,4	1,18	1,67	0,90*
Pousio	102	3773	1291,6	1096,6	84,9	0,94	0,05	0,88*
Média	127,7	2156,7	613,2	561,9	94,3	-	-	-
<i>Profundidade 0,10 - 0,20 m</i>								
Aveia Preta	3089	6165	4859,2	852,8	17,5	-0,35	-0,71	0,94 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	2539	6446	3941,8	1078,6	27,3	1,05	1,15	0,89*
Azevém	2824	5924	3969,0	916,78	23,1	1,12	0,34	0,84*
Nabo Forrageiro	2925	6451	4755,8	1166,4	24,5	0,05	-1,24	0,93 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	2031	6286	4440,6	1094,2	24,6	-0,14	-0,05	0,97 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	2645	7841	4313,5	1234,3	28,6	1,26	2,21	0,91 <sup>ns</sup>
AP+NF	2062	8367	4215,8	1550,4	36,7	0,73	1,21	0,93 <sup>ns</sup>
AP+ER	2108	6616	4347,3	1242,1	28,5	0,08	-0,91	0,94 <sup>ns</sup>
Tremoço	2052	7125	4838,8	1436,5	29,6	-0,48	-0,43	0,95 <sup>ns</sup>
Pousio	3924	7762	5993,2	1243,6	20,7	-0,38	-1,26	0,91 <sup>ns</sup>
Média	2619,9	6898,3	4567,5	1181,5	26,1	-	-	-
<i>Profundidade 0,20 - 0,30 m</i>								
Aveia Preta	3985	7816	5982,2	1105,5	18,5	-0,27	-0,83	0,95 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	4317	7722	6036,4	998,7	16,5	0,18	-0,77	0,96 <sup>ns</sup>
Azevém	4974	9107	6211,9	963,9	15,5	1,30	3,06	0,89*
Nabo Forrageiro	4850	8543	6737,4	1075,0	15,9	0,07	-1,17	0,95 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	5525	8747	6980,1	1049,3	15,0	0,14	-1,24	0,93 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	5148	8959	7237,6	1312,5	18,1	-0,22	-1,33	0,92 <sup>ns</sup>
AP+NF	4943	10071	7263,8	1396,5	19,2	0,09	-0,90	0,94 <sup>ns</sup>
AP+ER	4164	9230	6939,0	1496,4	21,5	-0,14	-1,14	0,94 <sup>ns</sup>
Tremoço	4735	8348	6773,6	1291,6	19,06	-0,42	-1,42	0,88*
Pousio	4699	8574	6733,1	1156,6	17,1	-0,05	-1,07	0,95 <sup>ns</sup>
Média	4734	8711,7	6689,5	1184,6	17,6	-	-	-
<i>Profundidade 0,30 - 0,40 m</i>								
Aveia Preta	3558	9144	6397,7	1797,7	28,0	0,04	-1,27	0,93 <sup>ns</sup>
Aveia Banca	3832	9263	6295,2	1709,0	27,1	0,26	-1,09	0,94 <sup>ns</sup>
Azevém	4169	9206	6558,9	1409,7	21,4	0,14	-0,6	0,97 <sup>ns</sup>
Nabo Forrageiro	4193	11305	7217,3	2134,1	29,5	0,07	-1,20	0,92 <sup>ns</sup>
Ervilhaca	4546	10122	7228,5	1493,5	20,6	0,008	-0,83	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF+ER	4301	11418	7610,1	1994,9	26,0	-0,05	-0,094	0,96 <sup>ns</sup>
AP+NF	4390	10370	7589,5	1680,5	22,1	-0,02	-0,85	0,96 <sup>ns</sup>
AP+ER	5000	11216	7911,7	2059,5	26,0	0,12	-1,25	0,93 <sup>ns</sup>
Tremoço	4396	10266	7532,5	1930,5	25,6	-0,46	-1,3	0,89*
Pousio	4147	10639	6903,1	1886,6	27,3	0,18	-0,91	0,94 <sup>ns</sup>
Média	4253,2	10294,9	7124,4	1809,6	25,3	-	-	-

(1) AP+NF+ER = Aveia preta + Nabo forrageiro + Ervilhaca; AP+NF = Aveia preta + Nabo forrageiro e AP+ER = Aveia preta + Ervilhaca.

(2) DP = Desvio Padrão; CV= Coeficiente de variação; Cs= Assimetria; Ck = Curtose.

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

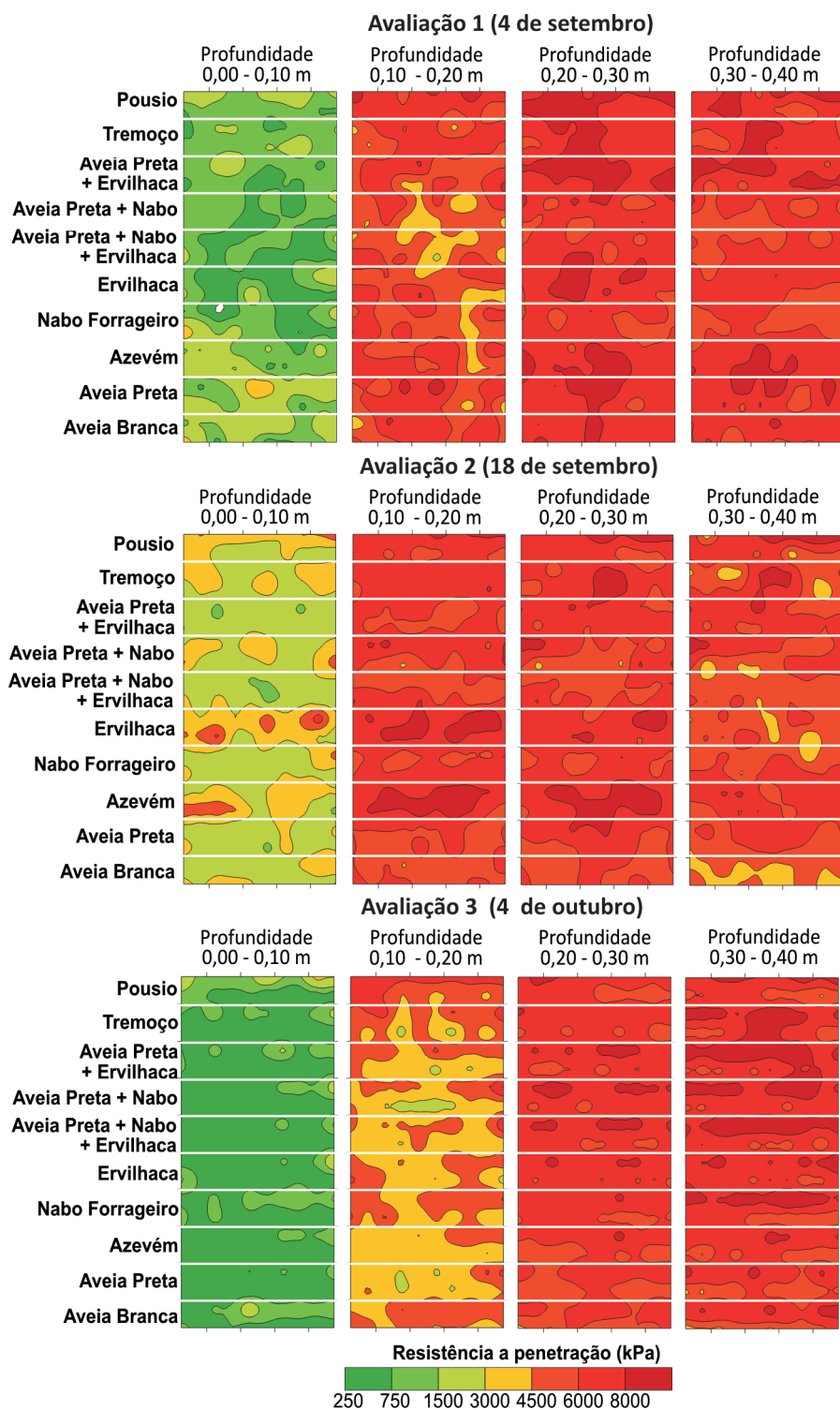


Figura 2. Variabilidade espacial da resistência do solo a penetração para as três épocas de avaliação, sistemas de cobertura do solo e nas profundidades de 0,00 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40m. Frederico Westphalen (RS).

tamento das informações obtidas através do estudo da RP, cuidados necessitam ser tomados, principalmente em relação as condições de umidade do solo. É importante que as avaliações sejam realizadas em faixas de umidade adequadas, as quais podem variar em função do plano de rotação usado e do tipo e quantidade de palha produzida que, também é variável na lavoura, justificando um manejo da variabilidade do solo também no inverno.

Dessa forma, os dados desse trabalho demonstram a importância de se considerar a cultura antecessora, haja visto que existe grande efeito do tipo de sistema radicular e do tempo de adoção do uso de plantas de cobertura sobre a RP. Nota-se grande potencial da ferramenta penetrômetro aliada a mapas temáticos para monitoramento da RP, porém o sistema e as estratégias de manejo adotadas na área são mais importantes que a avaliação isolada.

## Considerações

A utilização de sistemas de cobertura de inverno consorciados e que congreguem sistemas radiculares pivotantes e fasciculados contribui para a redução da resistência do solo a penetração. A utilização de nabo forrageiro em sistemas de rotação, tanto solteiro quanto consorciado também contribui para a minimização dos efeitos da compactação.

Em condições muito extremas de compactação, as reduções nos valores de resistência do solo a penetração em um curto espaço de tempo através do uso de plantas de cobertura com sistema radicular agressivo, somente serão observadas em camada mais superficiais, havendo a necessidade de experimentos de maior duração para a constatação dos resultados em camadas mais profundas (> 0,20 m).

A avaliação da resistência do solo a penetração deve ser criteriosa,



sendo que em trabalhos de campo conduzidos em grandes áreas de cultivo, o que exige alta eficiência operacional, se faz necessário observar as condições de umidade do solo, devendo-se evitar condições de alta umidade. Para uma boa representatividade das informações sugere-

se que seja procedida mais de uma avaliação antes de serem definidas as intervenções.

É evidente que não há uma única "formula" quando se pretende manejar compactação. Além do valor lido pelo aparelho deve ser agregado a experiência agrônômica e a contri-

buição de cada sistema, cada tipo de resíduo, sistema radicular, quantidade e qualidade da massa produzida, pois essas questões estão intimamente relacionadas a atividade biológica do solo que, muito tem contribuído para as altas produtividades em condições de lavoura.

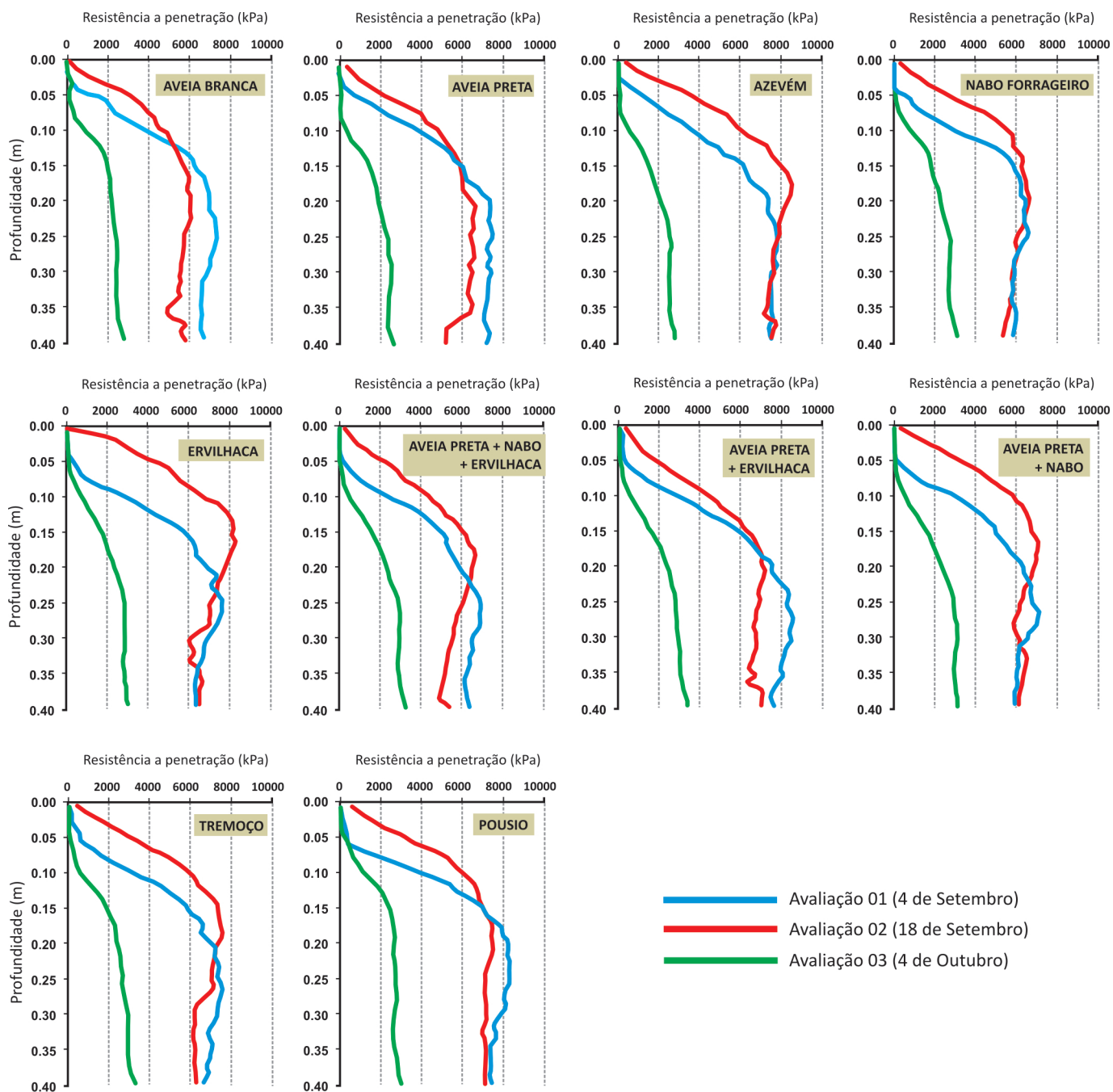


Figura 3. Resistência do solo a penetração para os diferentes sistemas de coberturas e nas diferentes épocas de avaliação (média de 18 repetições). Frederico Westphalen (RS).

Como essa estratégia (uso de penetrômetros) tem sido uma das ferramentas mais usuais, aliadas as tecnologias da agricultura de precisão para monitorar problemas de compactação do solo, o que se recomenda é uso de uma grade amostral densa, várias repetições por ponto amostral, avaliações em diferentes épocas do ano (preferencialmente quando do ciclo de culturas diferentes) e, se possível correlacionar com a produtividade das culturas para ai sim, em havendo limitação, repensar as estratégias de manejo que vem e que podem ser adotadas na área. O Sistema Plantio Direto agradece.

## Referências

- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:1663-1674, 2006.
- CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia Agrícola**, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.
- DE VITA, P.; DI PAOLO, E.; FECONDO, G.; DI FONZO, N.; PISANTE, M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil & Tillage Research**, v.92, p.69-78, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos; Brasília, Sistema de Produção de Informação, 2006. 306p.
- FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006.
- KUBOTA, A.; HOSHIBA, K. & BORDON, J. Green-manure turnip of soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agrícola**, 62:150-158, 2005.
- LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34; 1333-1342, 2010.
- LIMA, C.L.R.; MIOLA, E.C.C.; TIMM, L.C.; PAULETTO, E.A. & SILVA, A.P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 124:190-195, 2012.
- LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob os sistemas de pastejo rotacionado irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.945-951, 2004.
- MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J, C; SILVA, V.R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2014, vol.38, n.1, p. 288-298.
- NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1723-1734, 2008.
- NIMER, E. Clima. In: **Geografia do Brasil – Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p.151 – 187.
- REINERT, D .J.; COLLAR ES, G.L.; REICHERT, J.M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: Desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Engenharia Agrícola**, 27:304-316, 2007.
- REINERT, D.J. et al. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, 2001. p.114-133.
- SANTI, A. L. ; CORASSA, G. M. ; GAVIRAGHI, R. ; BISOGNIN, M. B. ; BASSO, C. J. ; DELLA FLORA, D. P. ; CASTRO, D. M. ; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16-23, 2014.
- SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, vol.39, n.1, pp. 58-64, 2009.
- SILVEIRA, D. de C.; MELO FILHO, J. F. de; SACRAMENTO, J. A. A. S. do; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 659-667, 2010
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.
- STRUDLEY, M. W.; GREEN, T. R.; ASCOUGH, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 1, p. 4-48, 2008.
- VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. de F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. Comunicado técnico 51, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, 2002.
- 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.