

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PALHA DE AVEIA EM SUPERFÍCIE, COMPACTAÇÃO
DO SOLO E CRESCIMENTO DE SOJA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Paloma de Lourdes Ribeiro Carvalho

**Itaqui, RS, Brasil
2017**

PALOMA DE LOURDES RIBEIRO CARVALHO

**PALHA DE AVEIA EM SUPERFÍCIE, COMPACTAÇÃO DO SOLO
E CRESCIMENTO DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Agrônoma**.

Orientador: Amauri Nelson Beutler

Itaqui, RS, Brasil
2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

C331p Carvalho, Paloma de Lourdes Ribeiro
Palha de aveia em superfície, compactação do solo e
crescimento de soja / Paloma de Lourdes Ribeiro Carvalho.
29 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2017.
"Orientação: Amauri Nelson Beutler".

1. Glycine max . 2. Avena strigosa. 3. compactação do solo.
4. manejo cultural. I. Título.

PALOMA DE LOURDES RIBEIRO CARVALHO

**PALHA DE AVEIA EM SUPERFÍCIE, COMPACTAÇÃO DO SOLO
E CRESCIMENTO DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Agrônoma**.

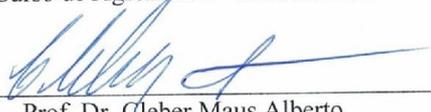
Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 10 de novembro de 2017.

Banca examinadora:

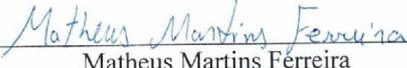


Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler
Orientador

Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof. Dr. Cleber Maus Alberto
Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Matheus Martins Ferreira
Mestrando em Agronomia - UFSM

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados pais de criação, Antônio Soalheiro e Maria do Carmo Ribeiro, que ultrapassaram toda e qualquer forma de amor, e foram os maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, carinho e compreensão, para que eu pudesse realizar meu sonho em me tornar Engenheira Agrônoma.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus, por ser meu guia e autor do meu destino, me dando forças para nunca desistir dos meus sonhos, estando presente em todos os momentos ao longo de minha caminhada.

Aos meus pais de criação Antônio Soalheiro e Maria do Carmo Ribeiro, mas também, não menos importantes, aos meus pais biológicos João Carlos Carvalho e Ismênia Ribeiro, que apesar de todas as dificuldades, foram fontes de amor, incentivo, apoio, e me fortaleceram em minha trajetória acadêmica, sendo essenciais na realização de minha graduação.

Aos meus irmãos, sobrinhos, e a toda minha família que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse nesta importante etapa de minha vida.

Ao meu namorado Marcelo Farina, pelo incentivo diário, carinho, compreensão, paciência, e amor que tem me dedicado. Agradeço também aos seus pais Éder Farina e Cristina Farina, por ser minha família na ausência física da minha.

Ao meu orientador Prof. Dr. Amauri Nelson Beutler, pelos ensinamentos, paciência, apoio, e por acreditar e me incentivar na execução deste trabalho.

Aos demais professores, minha gratidão, por estarem me conduzindo e contribuindo na minha formação profissional.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Solos - Vanderley de Lima Tartaglia, Fernando Sintra, Matheus Ferreira e também ao meu amigo Lucas Dotto, que participou voluntariamente na execução deste trabalho.

A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade, em especial a Mariana Trindade pelo companheirismo diário, Karina Chertok, Stella Pazetto e Francieli Tartaglia.

Enfim, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa, e estão presentes em minha jornada.

RESUMO

PALHA DE AVEIA EM SUPERFÍCIE, COMPACTAÇÃO DO SOLO E CRESCIMENTO DE SOJA

Autor: Paloma de Lourdes Ribeiro Carvalho

Orientador: Amauri Nelson Beutler

Local e data: Itaqui, 10 de novembro de 2017.

O Brasil vem se destacando na produção de soja, onde, atualmente é o maior exportador e o segundo maior produtor do grão e, grande parte desses resultados se deve ao cultivo da cultura em sistema conservacionista denominado Sistema Plantio Direto (SPD). Objetivou-se avaliar o efeito da aveia e quantidades de palha em superfície sobre a compactação do solo e a relação com o crescimento de soja em solos de várzea. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: 1) Pousio no inverno sem compactação (PO); 2) Pousio no inverno + compactação (POC); 3) Aveia preta e retirada da palha superficial + compactação (0PC); 4) Aveia e retirada da metade da palha + compactação (0,5PC); 5) Aveia + permanência da palhada + compactação (1PC); 6) Aveia + a palha retirada do tratamento 3 (2 doses palha) + compactação (2PC); 7) Aveia + permanência da palha, sem compactação (1P). Na semeadura da aveia preta foi utilizado espaçamento de 0,17 m entre linhas e 80 kg ha⁻¹ de sementes. No final do ciclo, as plantas de aveia preta foram cortadas a 0,03 m de altura, as quantidades de palha foram ajustadas nos tratamentos e a compactação do solo realizada nos tratamentos 2 a 6. A semeadura da cultura da soja foi realizada com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 16 sementes por metro, utilizando a cultivar BMX Magna RR. Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R2, foram retiradas 28 amostras com um quadrado de metal de 0,3 x 0,3 x 0,15 m de profundidade. Foram avaliadas: massa seca de nódulos, de raízes e da parte aérea, altura de plantas e nitrogênio na massa seca da parte aérea. A cultura da soja apresentou maior crescimento nos tratamentos sem compactação. Os níveis de palha de aveia preta não foram suficientes para diminuir os efeitos negativos da compactação.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Avena strigosa*; compactação do solo; manejo cultural.

ABSTRACT

OAT STRAW IN SURFACE, SOIL COMPACTION AND SOYBEAN GROWTH

Author: Paloma de Lourdes Ribeiro Carvalho

Advisor: Amauri Nelson Beutler

Data: Itaquí, November 10, 2017.

Brazil stands out among other countries in the production of soybeans, where it is currently the largest exporter and the second largest producer of the grain. Most of these results are due to the cultivation of the crop in a conservation system called Direct Sowing System. The aim of this study was to evaluate the effect of oats and surface straw quantities on soil compaction and the relation with soybean growth in lowland soils. The experimental design was randomized with seven treatments, with four replicates. The treatments were: 1) Fallow in winter without compaction (PO); 2) Fallow in winter + compaction (POC); 3) Black oats and surface straw removal + compaction (OPC); 4) Oats and 50 % removal of straw + compaction (0.5PC); 5) Oats + straw permanence + compaction (1PC); 6) Oat + straw withdrawn from treatment 3 (2 doses straw) + compaction (2PC); 7) Oat + straw permanence, without compaction (1P). Black oats were sown at 0.17 m spacing between rows and 80 kg-ha⁻¹ of seed. At the end of the crop cycle, the black oats were cut at 0.03 m height, the quantities of straw were adjusted in the treatments, and the soil compaction was carried out in treatments 2 to 6. After the soybean cultivation, with BMX Magna RR and a spacing of 0.45 m between rows, 16 seeds per meter were sown. When the plants reached the phenological stage R2, 28 samples within a metal square of 0.3 x 0.3 x 0.15 m of depth were removed. The following were evaluated: dry mass of nodules, roots and shoot, height of plants and nitrogen in the dry mass of the shoot. The soybean crop presented greater growth in the treatments without compaction. The black oats straw levels were not sufficient to decrease the negative effects of compaction.

Keywords: *Glycine max*; *Avena strigosa*; soil compaction; cultural management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Precipitação pluviométrica entre os meses de novembro de 2016 a fevereiro de 2017. Itaqui, RS, 2017.	16
FIGURA 2 - Crescimento radicular do tratamento: Pousio no inverno + compactação (POC)	20
FIGURA 3 - Crescimento radicular do tratamento: Pousio no inverno sem compactação (PO)	20

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para verificação da significância dos sistemas de manejo sob as variáveis ⁽¹⁾ avaliadas em plantas de soja em pleno florescimento (R2), cultivadas em terras baixas de Itaqui – Rio Grande do Sul na safra 2016/2017.	17
TABELA 2. Altura de plantas, massa seca da parte aérea, de raízes e de nódulos, e nitrogênio na massa seca da parte aérea de plantas de soja em pleno florescimento (R2), cultivadas em terras baixas de Itaqui – Rio Grande do Sul na safra 2016/2017.	18
TABELA 3. Correlação simples de Pearson entre cinco variáveis avaliadas em plantas de soja em pleno florescimento (R2), cultivadas em terras baixas de Itaqui – Rio Grande do Sul na safra 2016/2017.	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4 CONCLUSÕES.....	22
5 REFERÊNCIAS.....	23
6 ANEXOS	28

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) representa, no nível mundial, o papel de principal oleaginosa produzida e consumida, apresentando grande importância alimentar e econômica. No Brasil, sua produção possui grande relevância para o agronegócio, onde, os complexos produzidos (grão, farelo e óleo) estão presentes em diversas cadeias agroindustriais, na alimentação humana e animal (SOUZA et al., 2010). Nos últimos anos, o país vem se destacando na produção do grão, tornando-se o maior exportador mundial e o segundo maior produtor, alcançando na safra 2016/2017 a produção de 113,9 milhões de toneladas (CONAB, 2017). O desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas de manejo do solo possibilitou a expansão da área de cultivo da soja, onde, o Brasil é o país com maior área agrícola com a cultura (33,9 milhões de hectares), e o que possui maior área cultivada em sistema conservacionista denominado sistema plantio direto (SPD) (FEBRAPDP, 2012).

Dentre os principais benefícios do sistema de plantio direto estão à conservação do solo, redução no uso da água, menor custo de implantação e aumento de produtividade, sendo esta, uma ferramenta essencial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (EMBRAPA, 2014). Neste viés, apesar das vantagens conservacionistas, ambientais e econômicas, neste sistema ocorre a compactação do solo pelo tráfego de máquinas pesadas, principalmente em condições de elevada umidade, ausência de rotação de culturas e pouca palha superficial, causando um menor crescimento das culturas e conseqüentemente, redução da produtividade das mesmas (BEUTLER & CENTURION, 2003).

Segundo STEFANOSKI et al. (2013), devido ao menor revolvimento do solo, condições de compactação são verificadas em maior frequência em áreas cultivadas em SPD e, para que ocorra redução desses níveis, é fundamental a associação de práticas para a obtenção de melhores resultados, onde, a rotação de culturas e a presença de palha na superfície do solo são essenciais para a funcionalidade e sucesso do sistema.

Em sistemas agrícolas sustentáveis, a rotação de culturas é imprescindível. A inclusão de espécies com sistemas radiculares profundos e agressivos provoca alterações nas propriedades físicas do solo, possibilitando a formação de novos canais em sua estrutura, processo fundamental para a manutenção de sua porosidade e, atenuar os efeitos da compactação no mesmo (SANTOS et al., 2008). Além disso, a rotação de culturas pode reduzir ou interromper o ciclo de pragas, moléstias, plantas daninhas, melhorar as propriedades químicas e biológicas do solo, e ainda ser uma alternativa de renda (SCHOENFELD, 2010).

De acordo com ROSIM et al. (2012) a presença da palhada é responsável por dissipar parte da energia aplicada pelo tráfego de máquinas ou animais, bem como, reduzir a temperatura e a evaporação da água do solo, mantendo este mais úmido, favorecendo diretamente o crescimento radicular e o crescimento das plantas. O cultivo da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) no inverno vem sendo cada vez mais frequente em várias regiões do país, seja como forrageira para animais ou mesmo como planta de cobertura no inverno. Além do seu sistema radicular abundante, a mesma produz altas quantidades de biomassa, que quando manejada adequadamente, pode ser destinada a cobertura do solo.

A compactação promove uma reorganização estrutural do solo, ocasionando no aumento de sua densidade, decréscimo do volume de macroporos, e conseqüentemente, provoca alterações na disponibilidade de água, nutrientes e na difusão de gases (NEWAZ et al., 2013), culminando em redução no crescimento e produtividade de grãos (BEUTLER et al., 2005; MOALEMI ORE et al., 2008; GUBIANI et al., 2014). Na cultura da soja, SICZEK & LIPIEC (2011) verificaram que a compactação diminuiu a nodulação e fixação biológica de nitrogênio, porém, a utilização de palha na superfície do solo amenizou esse efeito prejudicial.

O aumento na demanda mundial por alimentos fez com que novas áreas agrícolas fossem incorporadas à produção de grãos. No estado do Rio Grande do Sul, tem ocorrido à expansão do cultivo de soja, e a cultura vem ocupando tanto as terras altas, quanto as terras baixas com solos de várzea em rotação com o arroz irrigado ou com a pecuária extensiva. No entanto, segundo BAMBERG et al. (2009), a maioria dos solos de várzea apresentam características físicas desfavoráveis ao cultivo de soja, como compactação e deficiência de drenagem, onde, uma alternativa para o seu cultivo seria o sistema de preparo convencional para revolver a camada superficial e reduzir a compactação de forma a proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento da planta (BERTOL et al., 2004), porém, esse sistema degrada o solo e não é sustentável. Neste cenário, a avaliação de diferentes manejos da área no efeito da compactação do solo e no crescimento de soja em solos de várzea, se faz uma importante informação, ao passo que servirá de subsídio para um melhor manejo das culturas e do solo.

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito do cultivo da aveia e as quantidades de palha de aveia em superfície, sobre a dinâmica da compactação do solo e a relação com o crescimento de soja em solos de várzea.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui – RS, nas coordenadas geográficas 29° 09' 21'' S, 56° 33', 03'' W, safra 2016/2017 em um Plintossolo Háplico textura média (EMBRAPA, 2013). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima local é do tipo Cfa subtropical úmido sem estação seca definida e com verões quentes (WREGGE et al., 2011).

Os valores de precipitação pluviométrica para o experimento foram obtidos da estação meteorológica automática do grupo de pesquisa GEAS, localizado na UNIPAMPA, Campus Itaqui - RS.

Em setembro de 2015, foi feito o preparo do solo, consistindo na realização da calagem na camada de 0 - 0,20 m de profundidade, escarificação e nivelamento da área. Em abril de 2016, realizou-se a caracterização química do solo, onde o mesmo foi coletado na camada de 0 - 0,20 m, seco ao ar, e passado em peneira 2 mm de abertura de malha: pH H₂O = 5,9; P = 6,0 mg dm⁻³; K = 0,072; Ca = 3,9; Mg = 1,6; Al = 0,0 cmol_c dm⁻³; saturação por base (V) = 73,4%; matéria orgânica (MO) = 1,3%. O teor de MO foi determinado pelo método Walkley-Black, o P extraível pelo método Mehlich-1, e o pH em água na solução solo : água 1:1 conforme descrito em TEDESCO et al. (1995).

Em maio de 2016, realizou-se uma aplicação de herbicida para controle de invasoras, para posteriormente, ser feita a implantação da aveia. Foi realizada a semeadura direta da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) no espaçamento de 0,17 m entre linhas e 80 kg ha⁻¹ de sementes. Para adubação de base, foram utilizados 200 kg ha⁻¹ de fertilizante na formulação 5-20-20 (N-P-K) e, o restante do nitrogênio exigido pela cultura foi aplicado em cobertura, consistindo em 100 kg ha⁻¹ de ureia em toda área. A recomendação foi conforme o Manual de Adubação e Calagem do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Nos tratamentos com pousio, aplicou-se herbicida para eliminar as plantas de aveia.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com sete tratamentos e quatro repetições constituídas de parcelas de 2,7 x 4 m (10,8 m²). Os tratamentos foram: 1) Pousio no inverno sem compactação (PO); 2) Pousio no inverno + compactação (POC); 3) Semeadura de aveia preta em plantio direto (PD), com corte das plantas a 0,03 m de altura e retirada total da palha superficial no final do ciclo + compactação (0PC); 4) Semeadura de aveia em PD, com corte das plantas a 0,03 m de altura e retirada da metade da palha superficial no final do ciclo + compactação (0,5PC); 5) Semeadura da aveia em PD, com corte das plantas a 0,03 m de altura e espalhamento na superfície do solo no final do ciclo +

compactação (1PC); 6) Semeadura de aveia em PD, com corte das plantas a 0,03 m de altura e espalhamento na superfície do solo no final do ciclo + a palha retirada do tratamento 3, sendo o tratamento 6 equivalente a duas vezes a quantidade de palha na superfície do solo + compactação (2PC); 7) Semeadura de aveia em PD, com corte da planta a 0,03 m de altura e espalhamento na superfície do solo no final do ciclo e sem compactação (1P). A massa seca da parte aérea da aveia no manejo, em novembro, foi de 8 t ha⁻¹.

Em novembro de 2016, após o estabelecimento das quantidades de palha, foi realizada a compactação do solo nos tratamentos 2 a 6, no conteúdo de água próximo a capacidade de campo, com um trator de 11 t com quatro pneus com a mesma largura e pressão de inflação, com duas passadas em toda a superfície do solo, sendo que em cada passada o trator passou lado a lado até perfazer toda a superfície. O número de passadas do trator foi estabelecido considerando o tráfego anual de máquinas sobre a superfície do solo para cultivo das culturas e em função de resultados da literatura, entre estes de BEUTLER et al. (2005) e VALICHESKI et al. (2012), a partir dos quais há redução da produtividade de soja em consequência da compactação do solo no campo.

As sementes de soja, cultivar BMX Magna RR, foram tratadas, inoculadas e semeadas no mês de novembro, com semeadora adubadora de plantio direto, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e 16 sementes por metro, sendo a adubação realizada conforme a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016), no sentido transversal a compactação. Nas laterais do experimento, foram realizados drenos para retirada do excesso de água.

Em fevereiro de 2017, quando as plantas atingiram o estágio fenológico R2 (pleno florescimento), conforme a Escala Fenológica proposta por FEHR & CAVINESS (1977), foram retiradas 28 amostras com um quadrado de metal de 0,3 x 0,3 x 0,15 m de profundidade, posicionando a linha de soja no centro do quadrado, contemplando de 4 a 5 plantas. Nestas amostras, as seguintes variáveis foram avaliadas: massa seca de nódulos, massa seca de raízes e da parte aérea, altura de plantas e nitrogênio na massa seca da parte aérea. De forma a obter maior representatividade dos resultados, foram amostradas por repetição, 1 metro de fileira, contemplando maior número de plantas, e nestas amostras, foram avaliadas altura de plantas e massa seca da parte aérea.

Para a altura de plantas, as mesmas foram cortadas a 0,03 m de altura e medidas a partir de sua base até a extremidade da haste principal, onde, este processo foi realizado em laboratório com o auxílio de uma trena. Após a medição, estas foram levadas para secagem

Na análise de variância, verificou-se que houve efeito entre os sistemas de manejo para as variáveis: altura de plantas e massa seca da parte aérea ($p \leq 0,01$) e de raiz ($p \leq 0,05$) (Tabela 1). A massa seca de raiz e de nódulos apresentaram um CV acima de 20%, indicando uma precisão experimental regular, o que pode ser atribuído à dificuldade em se trabalhar com tais variáveis. Para as demais variáveis, o CV esteve entre as faixas limites, indicando boa a ótima precisão, segundo a classificação de FERREIRA (1991).

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) para verificação da significância dos sistemas de manejo sob as variáveis ⁽¹⁾ avaliadas em plantas de soja em pleno florescimento (R2), cultivadas em terras baixas de Itaqui – Rio Grande do Sul na safra 2016/2017.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio						
		AP	MSPA	AP	MSPA	MSR	MSN	N
		Fileira de 1 m		Quadrado de metal: 0,3 x 0,3 x 0,15 m				
Tratamento	6	1291,8**	16117764,7**	1121,3**	7790791,8**	107,4*	3,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}
Erro	21	15,2	1199430,4	24,3	876757,5	30,8	1,8	0,14
CV (%)	-	4,8	15,2	6,1	14,5	24,5	22,7	14,7

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo, pelo teste F.
⁽¹⁾AP: Altura de plantas; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca de raízes; MSN: Massa seca de nódulos; N: Nitrogênio na massa seca da parte aérea.

Os tratamentos em que não ocorreu a compactação do solo (PO e 1P), as variáveis altura e massa seca da parte aérea apresentaram valores superiores aos tratamentos compactados tanto nas amostras realizadas em 1 m de fileira, quanto em 0,3 m (Tabela 2). A massa seca de raízes apresentou maior valor quando submetida à vegetação espontânea e compactação (POC). A massa seca de nódulos e o nitrogênio na massa seca da parte aérea não foram influenciados pela compactação e pelas quantidades de palha residual de aveia em superfície.

Tabela 2. Altura de plantas, massa seca da parte aérea, de raízes e de nódulos, e nitrogênio na massa seca da parte aérea de plantas de soja em pleno florescimento (R2), cultivadas em terras baixas de Itaquí – Rio Grande do Sul na safra 2016/2017.

Tratamento	Altura	Massa seca	Altura	Massa seca de	Massa seca	Massa seca	N
	parte aérea		parte aérea				
	Fileira de 1 m		Quadrado de 0,3 x 0,3 m				
	cm	kg	Cm	kg g		%
PO	101,9 a	10.315 a	102,7 a	7.549 ab	23,54 ab	6,70 a	2,4 a
POC	68,2 cd	5.202 b	67,7 c	5.626 bc	33,85 a	4,46 a	2,3 a
0PC	62,5 d	5.728 b	66,7 c	5.832 bc	20,64 b	6,05 a	2,8 a
0,5PC	69,5 cd	5.978 b	67,7 c	5.140 c	20,02 b	5,75 a	2,5 a
1PC	80,4 b	7.046 b	76,8 bc	5.769 bc	19,14 b	7,13 a	2,9 a
2PC	75,4 bc	6.499 b	79,1 b	6.060 bc	19,26 b	5,38 a	3,0 a
1P	109,9 a	9.711 a	106,2 a	9.112 a	22,39 ab	6,59 a	2,5 a
CV (%)	4,8	15,2	6,1	14,5	24,5	22,7	14,7

Médias seguidas por letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

PO – (Pousio no inverno sem compactação); POC – (Pousio no inverno + compactação); 0PC – (Aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e retirada da palha superficial + compactação); 0,5PC – (Aveia e retirada da metade da palha + compactação); 1PC – (Aveia + permanência da palha + compactação); 2PC – (Aveia + a palha retirada do tratamento 3 (2 doses palha) + compactação); 1P – (Aveia + permanência da palha, sem compactação).

Os valores superiores apresentados pelos os tratamentos PO (pousio no inverno sem compactação) e 1P (Aveia + permanência da palha, sem compactação) para as variáveis altura e massa seca da parte aérea, evidenciam a influência da compactação do solo no crescimento das plantas. BEUTLER et al. (2006), a partir de duas passadas de um trator de 11 t em um mesmo local sob preparo convencional e em solo descoberto, verificou decréscimo da altura das plantas de soja. Em relação à cobertura do solo, nas amostras em 1 m e 0,3 m de fileira, os diferentes níveis de palhada (0PC, 0,5PC, 1PC, 2PC) não apresentaram diferenças significativas para as variáveis altura e massa seca, demonstrando que neste trabalho, os níveis de palha testados não foram suficientes para amenizar os efeitos negativos da compactação. NOCE et al. (2008), avaliando o efeito da presença de palhada de gramíneas forrageiras (capim braquiarião, milho e sorgo forrageiro) e a ausência da cobertura do solo sobre o desenvolvimento das plantas de milho, observaram que, para todos os parâmetros avaliados, entre eles, altura de plantas, não houve diferença significativa entre tratamentos.

A compactação do solo causa um menor crescimento da planta pela redução da aeração e absorção de água e nutrientes no solo (CALONEGO et al., 2011). Em relação à menor absorção de água, alguns estudos mencionam que, tal condição provoca redução da pressão de turgor das raízes, aumentando a produção e concentração de ácido abscísico (ABA) nas mesmas (MULHOLLAND et al., 1996). O ABA é enviado a parte aérea via xilema, atuando como mensagem química que leva a vários eventos fisiológicos, como a redução da condutância estomática, provocando a redução da concentração interna de CO₂, e, conseqüentemente diminuindo a atividade fotossintética, expansão foliar e crescimento celular (FARIAS et al., 2007; FERRARI et al., 2015). De acordo com MELO et al. (2007), a turgência é o estado hídrico da planta determinante para a abertura estomática e o crescimento celular. Isto possivelmente ocorreu visto que os tratamentos que não foram submetidos à compactação do solo tiveram maior crescimento de plantas.

Os solos de várzea são caracterizados por sua drenagem deficiente, e, em épocas de chuvas constantes, sua saturação é atingida rapidamente, podendo causar efeitos negativos ao desenvolvimento das plantas, devido ao estresse por saturação hídrica (SCHOFFEL et al., 2001). A precipitação pluviométrica desde a semeadura, até a coleta das amostras (FIGURA 1), indica boa distribuição das chuvas nesse período, porém, evidencia dias com alta pluviosidade, condição esta, responsável pela saturação do solo. A compactação, aliada ao alagamento diminuem a aeração do solo, limitando a disponibilidade de oxigênio às raízes e prejudicando o crescimento e a atividade das mesmas. O maior valor de massa seca de raízes foi obtido no tratamento pousio no inverno e compactação (POC). BEUTLER & CENTURION (2004) verificaram que, no tratamento com solo revolvido e não compactado, ocorreu maior concentração de raízes até 0,10 m de profundidade, e, nos tratamentos nos quais o solo foi compactado, apresentou maior quantidade de raízes até 0,05 m. Estes resultados foram explicados pelo maior valor de resistência a penetração (RP) na camada de 0,05-0,10 m, dificultando a distribuição do sistema radicular em profundidade. Segundo BORGES et al. (1988), quando as raízes de plantas de soja encontram impedimento mecânico, seu crescimento é limitado ocorrendo modificações em sua morfologia, o que pode ser observado no tratamento POC (Figura 2) onde o crescimento das raízes laterais concentraram-se nas regiões superiores enquanto que, no tratamento PO (Figura 3), a ausência da compactação permitiu o crescimento radicular em profundidade.

O aumento da compactação impede a passagem da raiz principal e leva a esta, a compensar esse efeito pela expansão de raízes laterais em pontos de menor resistência oferecidos pelo solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997; GUIMARÃES et al., 2013), o que

possivelmente ocorreu no tratamento POC. Apesar dos valores superiores de massa seca de raízes, as plantas de soja neste tratamento apresentaram menor altura e massa seca da parte aérea comparado aos demais. De acordo com CAMARGO & ALLEONI (1997), essas raízes laterais apresentam diâmetros menores, que se proliferam e formam um sistema radicular denso e raso, impossibilitando a absorção de água e nutrientes em maiores profundidades, proporcionando menor desenvolvimento das plantas.



FIGURA 2- Crescimento radicular do tratamento: Pousio no inverno + compactação (POC)



FIGURA 3- Crescimento radicular do tratamento: Pousio no inverno sem compactação (PO)

Os coeficientes de correlação entre as variáveis variaram de -0,73 a 0,94 (Tabela 3). A massa seca da parte aérea foi a variável que apresentou maior correlação positiva com a altura de plantas ($r=0,94$). A massa seca de raiz apresentou correlações negativas com a massa seca de nódulos ($r=-0,64$) e com o nitrogênio na massa seca da parte aérea ($r=-0,73$). Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003), para que a correlação seja classificada como forte sobre o comportamento simultâneo das variáveis, é necessário que o coeficiente de correlação esteja entre 0,6 e 1. Valores abaixo desses parâmetros são considerados correlações moderadas a fracas.

Tabela 3. Correlação simples de Pearson entre cinco variáveis avaliadas em plantas de soja em pleno florescimento (R2), cultivadas em terras baixas de Itaqui – Rio Grande do Sul na safra 2016/2017.

	Variáveis ⁽¹⁾				
	AP	MSPA	MSR	MSN	N
AP	1				
MSPA	0,94	1			
MSR	-0,10	-0,01	1		
MSN	0,54	0,44	-0,64	1	
N	-0,24	-0,26	-0,73	0,26	1

⁽¹⁾ AP: Altura de plantas; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca de raízes; MSN: Massa seca de nódulos; N: Nitrogênio na massa seca da parte aérea.

A altura de plantas se correlacionou fortemente com a massa seca da parte aérea, indicando que existe associação positiva entre essas variáveis. O acúmulo da massa seca da parte aérea da planta de soja é dependente da altura, que é, por sua vez, uma característica genética e pode variar com as condições edafoclimáticas e práticas culturais (BRANDT et al., 2006; TORRES et al., 2015).

A massa seca de raiz apresentou correlação negativa com a massa seca de nódulos e também com o nitrogênio na massa seca da parte aérea, indicando que tais variáveis movem-se em direções opostas. Resultados diferentes foram verificados por MARCHESAN et al. (2013), onde, em estudos para avaliação do desenvolvimento de plantas de soja em solos com e sem escarificação, foram obtidos melhores resultados quando realizada a escarificação. Esta melhoria da parte física do solo proporcionou que a planta desenvolvesse maior comprimento de raízes, assim como massa seca, além de proporcionar maior número e massa seca de nódulos viáveis por planta, possibilitando maior absorção e fixação biológica de nitrogênio, evidenciando que condições adequadas de cultivo favorecem ambas as variáveis.

4 CONCLUSÕES

A cultura da soja apresentou maior crescimento nos tratamentos sem compactação.

O cultivo e a quantidade de palha de aveia preta não aumentou o crescimento da soja subsequente.

A maior massa seca de raízes foi obtida no tratamento pousio no inverno e compactação.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 10. ed. Washington: AOAC International, 1989. 1015p.

BAMBERG, A. L.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TIMM, L. C.; PINTO, L. F. S.; LIMA, A. C. R.; SILVA, T. R. Densidade de um Planossolo sob sistema de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1079-1086, 2009.

BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.849-856, 2003.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.581-588, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a Haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.48, p.863-871, 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.787-794, 2006.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; REGAZZI, A. J.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, v.35, p.553-568, 1988.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agronômico de soja em função da sucessão de culturas em sistema plantio direto. **Ciência Agrotecnologia**, v.30, p.869-874, 2006.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. p.255.

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, v.27, p.289-296, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376p.

CONAB. Grãos. **Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos**, v.4, p.1-176, 2017. [Acesso em: 28 de julho de 2017]. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_13_11_27_16_boletim_graos_marco_2017.pdf

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 2014. **Pesquisa brasileira confirma benefício econômico e ambiental do sistema plantio direto**. [Acesso dia 28 de julho de 2017]. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1965719/pesquisa-brasileira-confirma-beneficio-economico-e-ambiental-do-sistema-plantio-direto>>

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p.1-9. (Circular Técnica 48).

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. 2012. **Evolução da área de plantio direto no brasil**. [Acesso em: 28 de julho de 2017]. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977, p.12. (Special Report, 80).

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Revista Nativa**, v.03, p.67-77, 2015.

FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental Aplicada à Agronomia**. Maceió: EDUFAL, 1991. 440p.

GUIMARÃES, C. V.; ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; SANTOS, D. C. DOS. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1188–1194, 2013.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produtividade de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.38, p.765-733, 2014.

MARCHESAN, E.; TONETTO, F.; OLIVEIRA, M. L.; COELHO, L. L.; HANSEL, D. S. S.; ARAMBURU, B. B.; CASTRO, I. A. Subsolação, aplicação de gesso agrícola e de enxofre elementar em soja em área de várzea. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2013, Santa Maria. **Anais eletrônicos...** Santa Maria: UFSM, 2013. Disponível em: <<http://cbai2013.web2265.uni5.net/cdonline/docs/trab-1307-380.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVES, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Revista Hoehnea**, v.34, p.145-153, 2007.

MOALEMI ORE, A.; KARPVARFARD, S. H. Effects of soil compaction due to wheel traffic on corn growth and yield. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources**, v.11, p.579-594, 2008.

MULHOLLAND, B. J.; BLACK, C. R.; TAYLOR, I. B.; ROBERTS, J. A.; LENTON, J. R. Effect of soil compaction on barley (*Hordeum vulgare* L.) growth. I. Possible role for ABA as a root-sourced chemical signal. **Journal of Experimental Botany**, p.539-549, 1996.

NEWAZ, M.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.33, p.291-309, 2013.

NOCE, M. A.; SOUZA, I. F.; KARAM, D.; FRANÇA, A. C.; MACIEL, G. M. Influência da palhada de gramíneas forrageiras sobre o desenvolvimento da planta de milho e das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, p. 265-278, 2008.

ROSIM, D. C.; MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, A. P. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, v.71, p.502-508, 2012.

SANTOS, J. B.; LÁZARI, T. M.; CAMELO, G. N.; OLIVEIRA, T. A.; FIGUEIREDO, J. L. A. Competição entre soja resistente ao glyphosate e plantas daninhas em solo compactado. **Planta Daninha**, v.26, p.123-130, 2008.

SCHOENFELD, R. **Sistema de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em Planossolo Háplico**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SCHÖFFEL, E. R.; SACCOL, A. V.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.31, 2001.

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil & Tillage Research**, v.114, p.50-56, 2011.

SOUZA, M. O.; MARQUES, D. V.; SOUZA, G. S.; MARA, R. O complexo de soja: Aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o desenvolvimento**, v.2, p.1-86, 2010.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. S.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-309, 2013.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).

TORRES, F. E.; DAVID, G. V.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORREA, C. G.; LUZ JÚNIOR, R. A. Desempenho agrônômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, p.111-117, 2015.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. L.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.969-977, 2012.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER-JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Embrapa Florestas, 2011. 211 p.

6 ANEXOS

Fotos do experimento de soja cultivado em terras baixas de Itaquí-RS na safra de 2016/2017.



ANEXO A- Plantas de Soja no Tratamento:
Pousio no inverno + compactação (POC)



ANEXO B- Plantas de Soja no Tratamento:
Pousio no inverno sem compactação (PO)



ANEXO C-Retirada da amostra com o quadrado de metal de 0,3 x 0,3 x 0,15 m de profundidade, no tratamento:
Aveia + permanência da palha, sem compactação (1P).



ANEXO D-Processo de limpeza das amostras, para posterior separação de raízes e nódulos.



ANEXO E- Raízes limpas do Tratamento: Pousio no inverno + compactação (POC)



ANEXO F- Separação dos nódulos das raízes no Tratamento: Pousio no inverno + compactação (POC)



ANEXO G- Determinação de altura de plantas com auxílio de uma trena