

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM SÃO LUIZ GONZAGA  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**VINÍCIUS BATISTA BRUM**

**DIAGNÓSTICO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO MECÂNICA NA  
PRODUÇÃO DE GRÃOS SOB PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DAS MISSÕES/RS**

**SÃO LUIZ GONZAGA, RS**

**2022**

**VINÍCIUS BATISTA BRUM**

**DIAGNÓSTICO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO MECÂNICA NA  
PRODUÇÃO DE GRÃOS SOB PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DAS MISSÕES/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo  
pela Universidade Estadual do Rio Grande do  
Sul.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marta Sandra  
Drescher

**SÃO LUIZ GONZAGA, RS**

**2022**

Catálogo de Publicação na Fonte

B893d Brum, Vinícius Batista.  
Diagnóstico da resistência do solo à penetração mecânica na produção de grãos sob plantio direto na região das missões/RS / Vinícius Batista Brum. – São Luiz Gonzaga, 2022.  
19 f.

Orientadora: Marta Sandra Drescher.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Unidade universitária em São Luiz Gonzaga, 2022.

1. Compactação. 2. Estrutura do solo. 3. Crescimento radicular. I. Drescher, Marta Santa. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Laís Nunes da Silva CRB10/2176.

**VINÍCIUS BATISTA BRUM**

**DIAGNÓSTICO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO MECÂNICA NA  
PRODUÇÃO DE GRÃOS SOB PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DAS MISSÕES/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo  
pela Universidade Estadual do Rio Grande do  
Sul.

Orientadora: Profª Drª Marta Sandra  
Drescher

Aprovada em: 04 de julho de 2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profª Drª Marta Sandra Drescher  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

---

Prof Ms Eugênio Farias Marques Portela  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

---

Prof Dr Mastrângello Enivar Lazanova  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

**SÃO LUIZ GONZAGA, RS**

**2022**

## RESUMO

A compactação do solo é um problema que altera negativamente inúmeras propriedades físicas do solo, como a resistência a penetração mecânica, a qual influencia o acesso a água e nutrientes pelo sistema radicular. Este problema foi agravado pelo cultivo do solo sob sistema plantio direto, no qual a ausência de revolvimento mantém a camada compactada. Nesse cenário, o trabalho objetivou avaliar o efeito de estratégias químicas, mecânicas e biológicas de melhoria da estrutura do solo nos níveis de resistência mecânica à penetração (RP). O ensaio foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada em São Luiz Gonzaga/RS. O ensaio foi delineado em blocos ao acaso com quatro repetições. A distribuição dos tratamentos seguiu esquema fatorial com parcelas subdivididas: na parcela principal foram alocadas formas de aplicação de corretivo da acidez (superficial e incorporada); na subparcela foram alocados modelos de produção com adições de quantidades variadas de fitomassa (uma, duas e três safras por ano agrícola); na subsubparcela foi avaliado formas de semeadura de espécies de verão com semeadora munida de haste sulcadora e, semeadora equipada exclusivamente com discos, com o objetivo de mitigar mecanicamente as restrições físicas impostas pelo solo. Os resultados obtidos indicam que maiores valores de deposição de fitomassa resultam em menores valores de RP, assim como a utilização de calcário incorporado obteve menores níveis de resistência a penetração. A utilização de semeadora de plantio direto equipada com haste sulcadora + discos e, semeadora desprovida de haste, não apresentaram potencial mitigador da compactação do solo.

**Palavras-chave:** Compactação. Estrutura do solo. Crescimento radicular.

## ABSTRACT

Soil compaction is a problem that negatively alters numerous physical properties of the soil, such as resistance to mechanical penetration, which influences access to water and nutrients by the root system. This problem was aggravated by the cultivation of the soil under a zero-tillage system, in which the absence of turning keeps the layer compacted. In this scenario, the study aimed to evaluate the effect of chemical, mechanical and biological strategies to improve the soil structure on the levels of mechanical resistance to penetration (RP). The experiment was carried out at the Experimental Station of the State University of Rio Grande do Sul (UERGS), located in São Luiz Gonzaga/RS. The trial was designed in randomized blocks with four replications. The distribution of the treatments followed a factorial scheme with subdivided plots: in the main plot, forms of application of the acidity corrector (superficial and incorporated); in the subplot, production models were assigned with additions of variable quantities of phytomass (one, two and three harvests per agricultural year); In the sub-subplot, ways of sowing summer species were evaluated with a seeder equipped with a furrow rod and a seeder exclusively equipped with discs, with the aim of mechanically mitigating the physical restrictions imposed by the soil. The results obtained indicate that higher phytomass deposition values result in lower RP values, as well as the use of incorporated limestone obtained lower levels of resistance to penetration. The use of a no-till planter equipped with a furrower + discs and a stemless planter did not show any potential to mitigate soil compaction.

**Keywords:** Compaction. Soil structure. Root growth.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO GERAL .....	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
CONCLUSÕES.....	17
REFERÊNCIAS .....	17

## **Apresentação geral**

O Trabalho de Conclusão de Curso II que será apresentado na sequência tem como tema a avaliação da resistência que o solo exerce a penetração mecânica. O estudo foi realizado na Estação Experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada em São Luiz Gonzaga/RS, em solo representativo da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, manejado há longo tempo sob plantio direto, com presença de camada subsuperficial degradada, manifestada por restrições de natureza física e química à produtividade das culturas.

Em outras palavras, o solo selecionado para o estudo representa a situação corriqueira dos solos manejados sob plantio direto, na região de clima subtropical úmido do Brasil, caracterizada pela frequente ocorrência de estiagens ao longo das safras agrícolas e por apresentar um perfil, de 0 a 20 cm de profundidade, estratificado em duas camadas: uma superficial, com solo de estrutura granular solta, sem restrições ao desenvolvimento das plantas; e outra subsuperficial, aproximadamente entre 07 e 20 cm de profundidade, com solo de estrutura maciça, compactada e/ou adensada, com restrições ao desenvolvimento das plantas.

O trabalho objetiva fazer um diagnóstico da resistência do solo a penetração mecânica em sistemas de produção de grãos sob plantio direto submetido a associação de práticas de natureza mecânica, química e vegetativa, as quais visam converter a adoção simplista do plantio direto no complexo tecnológico conhecido como sistema plantio direto e, conseqüentemente, mitigar e prevenir restrições do solo à produtividade das culturas.

O documento foi elaborado no formato de um artigo científico, seguindo as normas da Revista Eletrônica Científica da Uergs. As recomendações gerais do Periódico indicam que a submissão contenha os seguintes itens: Título (considerando a língua do texto da submissão), Autores e afiliações (nome da instituição de vínculo, e-mail para contato e o link para currículo Lattes no doc word); Resumo (escrito na língua portuguesa, não excedendo 250 palavras), Palavras-chave (ao menos 3 e no máximo 5) devem ser informadas no momento da submissão (palavras-chave separadas por vírgula) e no documento do artigo (palavras-chave separadas por ponto final), Título traduzido para o inglês, Abstract, Keywords; Título em espanhol, Resúmen e palabras clave, Introdução, Materiais e Métodos/Metodologia, Resultados e Discussão, Conclusão ou Considerações Finais e Referências (sem uso de numeração progressiva). Maiores informações sobre as normas de publicação podem ser obtidas diretamente na página da Revista (<http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs>).



## Introdução

O plantio direto começou a ser utilizado no Brasil a partir da década de 1970, quando produtores pioneiros do estado do Paraná começaram a aplicar técnicas de plantio sob a palhada visando reduzir a erosão do solo. Esta prática revolucionou a agricultura no Brasil, sendo adotado hoje em mais de 33 milhões de hectares no País (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2021).

Para manter sua viabilidade por longos períodos de tempo em solos tropicais e subtropicais o plantio direto passou por ajustes tecnológicos, até chegar no que se denomina hoje de sistema plantio direto (SPD). O SPD é uma forma de manejo conservacionista, com a utilização de um complexo de processos técnicos visando aumento de produtividade. Se fundamenta no revolvimento mínimo do solo, mantendo a cobertura permanente da palhada e a utilização de rotação e/ou consorciação de culturas (DENARDIN *et al.*, 2011). Ou seja, além da ausência de revolvimento, o sistema agrega a práticas de rotação, consorciação de culturas e à cobertura permanente, objetivando estabelecer o processo contínuo colher-semear, no qual o solo permanece o menor tempo possível sem a presença de culturas agrícolas.

Contudo, estima-se que o sistema plantio direto alicerçado em todos seus fundamentos esteja presente em menos da metade da área cultivada sem revolvimento do solo (SAUERESSIG, 2019). A maior parte dos produtores trabalham com o plantio direto na palha, fazendo o revolvimento mínimo do solo, mas deixando de utilizar outros preceitos como a rotação de culturas, caracterizando assim um plantio direto (PD) (DENARDIN, 2018).

Como consequência da utilização simplista do SPD, é possível notar um acréscimo no grau de compactação do solo, principalmente na profundidade de 0,07 a 0,15m de profundidade, sendo proveniente do manejo inadequado da área (DRESCHER *et al.*, 2016). Essa estratificação pode obstruir ou dificultar o desenvolvimento radicular das culturas, aumentando a percentagem de perdas de produtividade por estresse hídrico, mesmo em curtos períodos sem chuva. Associado a isso, tem-se o risco de erosão hídrica em ocorrência de chuvas muito intensas uma vez que a compactação reduz a qualidade estrutural do solo (SECCO *et al.*, 2009). Segundo Silva *et al.* (2009) a utilização do monocultivo e a baixa concentração de fitomassa no solo, tendem a resultar em um acréscimo no grau de estratificação do solo, confirmando assim, que a não utilização de todos fundamentos do SPD acarreta em problemas de degradação do solo.

Para mitigar o processo de compactação, uma estratégia utilizada é a de descompactação mecânica, o que favorece o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e potencializa a formação de bioporos, os quais possibilitam os fluxos de água e ar no solo. Porém, além de demandar elevado consumo energético, essa prática apresenta efeito efêmero, com pouca duração (DRESCHER *et al.*, 2011) e, se contrapõem ao preceito de revolvimento mínimo do solo presente no SPD. A intensificação da compactação decorre das pressões exercidas sobre o solo serem maiores do que as ações dos agentes descompactadores, pressão essa oriunda dos rodados dos maquinários e/ou do pisoteio animal (REICHERT *et al.* 2007; DRESCHER *et al.*, 2011).

O manejo do SPD pode alterar a estrutura do solo e, com isso, o crescimento e desenvolvimento cultural. Logo, realizar o monitoramento da compactação do solo mensurando à

resistência a penetração é um modo prático de relacionar a interferência dos diferentes tipos de manejo na estrutura do solo e por consequência no crescimento do sistema radicular das plantas, potencializando assim avaliações e pesquisas dentro das propriedades rurais (TAVARES FILHO & RIBON, 2008).

A resistência à penetração é medida através de instrumentos de controle chamado de penetrômetro ou penetrógrafos, no qual mensuram a pressão de um cone padrão, quando inseridos no solo, possibilitando identificar camadas com maior resistência e assim inferir o grau de compactação do solo e sua profundidade. A sondagem do solo para se mensurar a qualidade física é um procedimento necessário para tomada de decisão, sendo o penetrômetro um equipamento de fácil manuseio e com baixo custo (DRESCHER *et al.*, 2011). Dessa forma, o penetrômetro tem se apresentado como ferramenta importante para correlacionar e explicar os efeitos que a compactação gera no crescimento radicular e assim afetando no desenvolvimento das culturas (TAVARES FILHO & RIBON, 2008).

Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi diagnosticar a resistência do solo à penetração mecânica em resposta a estratégias para a mitigação da estratificação física e química da camada superficial do solo, manejadas com diferentes adições de fitomassa ao solo em área manejada sob plantio direto na região das Missões no Estado do Rio Grande do Sul.

## **Materiais e Métodos**

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Unidade São Luiz Gonzaga, em solo representativo da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, caracterizado como Latossolo Vermelho. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido.

O experimento foi realizado em área de produção de grãos manejada há mais de vinte anos sob plantio direto, com presença de camada subsuperficial degradada, manifestada por restrições de natureza física e química à produtividade das culturas. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial com parcelas subsubdivididas, em que:

- na parcela principal foram aplicadas formas de correção da acidez, em dois níveis (corretivo em superfície e, aplicação de corretivo incorporado por aração).
- na subparcela, foram alocados três níveis para avaliar a adição de variadas quantidades de fitomassa depositados no solo, baseado em modelos de produção estruturados em uma safra, duas safras e três ou mais safras por ano agrícola.
- na subsubparcela, foram alocados dois níveis de manejo, designando formas de semeadura de espécies de verão com semeadora equipada com haste sulcadora estreita, de ação vertical e profunda, contrapondo-se à semeadura de espécies de verão com semeadora equipada exclusivamente com discos de corte, objetivando mitigar mecanicamente restrições de natureza física do solo.

As intervenções mecânicas por aração para incorporação do corretivo de acidez foram realizadas somente na implantação do ensaio (realizado até 20 cm de profundidade), sendo substituído no decorrer pela semeadura com semeadora equipada com haste sulcadora estreita, de ação vertical e profunda para espécies de verão. As espécies de inverno foram semeadas com semeadora equipadas unicamente com discos duplos.

O experimento de campo foi conduzido no período de maio 2018 a maio de 2021, onde os modelos de produção adotados contemplaram as seguintes culturas:

- baixo aporte de fitomassa: aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno/2018; soja [*Glycine max* (L.) Merr.] no verão/2019; pousio no inverno/2019; soja no verão/2020; pousio no inverno/2020; soja no verão/2021;
- médio aporte de fitomassa: aveia preta no inverno/2018; soja no verão/2019; aveia preta no inverno/2019; soja no verão/2020; trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno/2020; soja no verão/2021;
- alto aporte: aveia preta no inverno/2018; milho (*Zea mays*) + braquiária (*Brachiaria*) no verão/2019; aveia + azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno/2019; milho + braquiária no verão/2020; trigo no inverno/2020; soja no verão/2021.

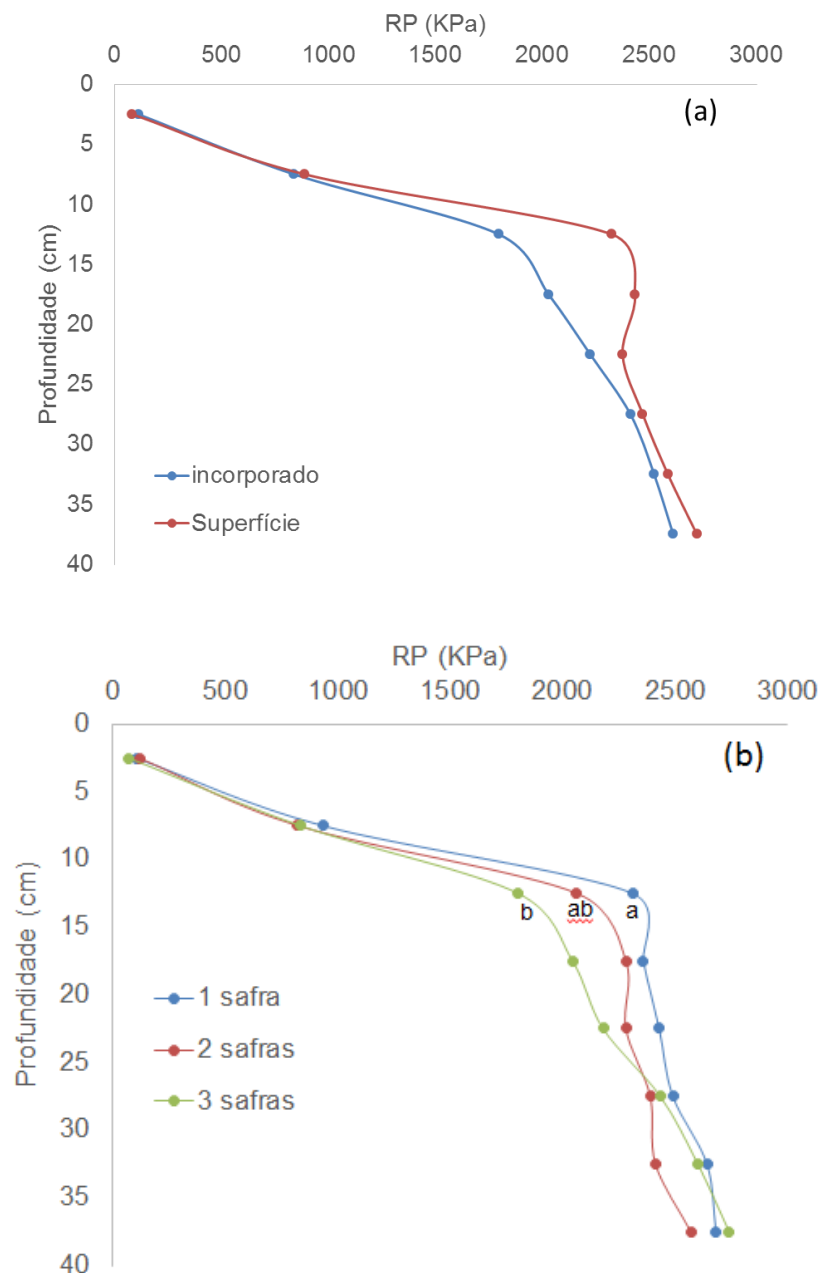
Para o levantamento dos dados de resistência do solo a penetração mecânica, foi realizada a avaliação a campo com auxílio de um penetrômetro georreferenciado, seguindo as normas ASAE S 313.3, sendo a resistência aferida até uma profundidade de 0,40m. As avaliações foram realizadas em janeiro de 2020 e em fevereiro de 2021, quando a área era cultivada com a cultura da soja. As avaliações foram realizadas na linha e na entre linha de semeadura. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e o teste de hipóteses, para a interação entre os fatores alocados na parcela principal, na subparcela e na subsubparcela e para os efeitos principais dos fatores da parcela principal e da subparcela, nas três camadas avaliadas. Os resultados foram comparados pelo teste de Tukey (p) ao nível de 5% de erro. Todas as análises foram realizadas no pacote estatístico Sisvar.

## Resultados e discussão

Os resultados obtidos através da avaliação da resistência à penetração pelo método do penetrômetro de campo, em janeiro de 2020, para a linha de semeadura estão representados na Figura 1. Nas áreas manejadas com aplicação de corretivo em superfície e aplicação de corretivo incorporada por aração (parcela principal), os valores de RP foram menores na parcela com o corretivo incorporado, principalmente na camada de 7 cm à 20 cm de profundidade (Figura 1a).

Nos tratamentos estruturados a partir de modelos de produção com uma, duas e três ou mais safras por ano agrícola, percebe-se uma acentuada estratificação física a partir da camada dos 7 cm, aumentando os valores de RP de acordo com o aumento da profundidade (Figura 1b). Esse comportamento também foi demonstrado por Drescher *et al.* (2016) que observaram um incremento da RP em profundidades superiores a 7 cm. Foi possível constatar que no tratamento onde ocorreram as rotações de culturas (três safras agrícolas), os valores de RP mantiveram-se inferiores aos demais

tratamentos, indicando condições mais favoráveis para o crescimento radicular das culturas em comparação com uma e duas safras por ano agrícola. Os valores observados se mantiveram próximos a 2.000 KPa. O valor de 2000 KPa é frequentemente relatado como valor crítico de resistência a penetração para o desenvolvimento radicular das culturas, sendo valor limitante para seu rendimento (SILVA *et al.*, 1994; TORMENA *et al.*, 1999). Outros autores, entretanto, denotam que o limite crítico consiga atingir 2500 KPa (CAMARGO & ALLEONI, 1997; LEÃO *et al.*, 2004) e, em solos cultivados a longo período sob plantio direto possa vir atingir 3500 KPa (TORMENA *et al.*, 2007). Dentro do sistema do plantio direto, a efetiva cobertura e seu alto teor de fitomassa depositados ao solo, são fundamentais para seu bom funcionamento.



**Figura 1.** Resistência do solo à penetração na linha de semeadura (janeiro/2020), em área submetida a aplicação de corretivo em superfície e aplicação de corretivo incorporada por aração (parcela

principal) (a); e área submetida a diferentes modelos de produção com uma, duas e três safras por ano agrícola (subparcela) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pode-se observar na Figura 2, que nas parcelas com diferentes formas de semeadura para espécies de verão (subsubparcela), com semeadora equipada com haste sulcadora contrapondo-se à semeadura de espécies de verão com semeadora equipada exclusivamente com discos de corte, não diferiu entre os tratamentos. Esse resultado não era esperado, tendo em vista que o emprego de componentes sulcadores equipados em semeadoras de plantio direto costuma apresentar alto potencial de mitigação da compactação do solo, agindo diretamente na camada compactada (DRESCHER *et al.*, 2012).

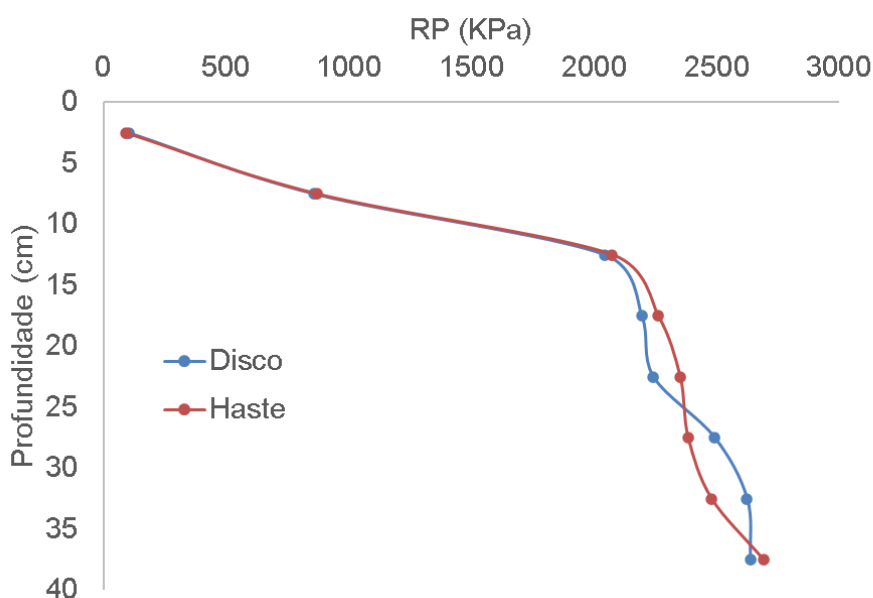
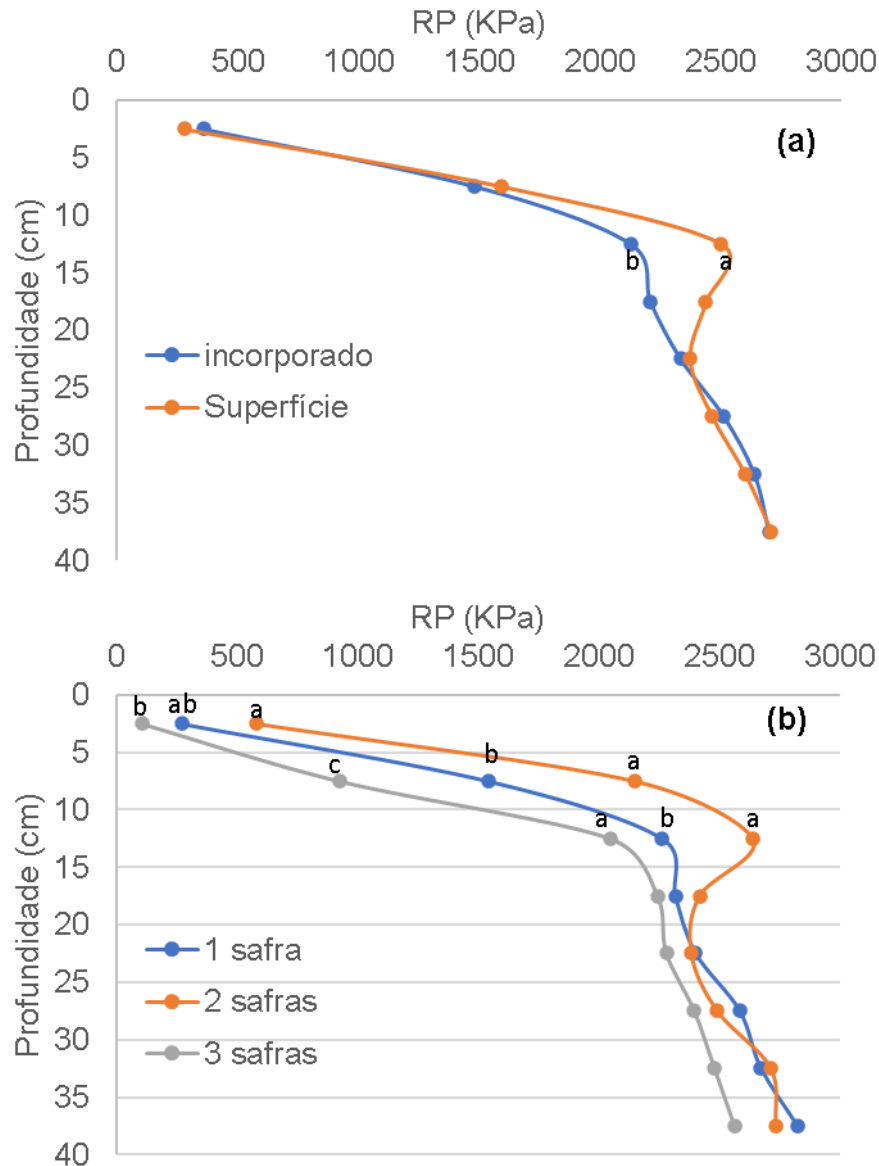


Figura 2. Resistência do solo à penetração na linha de semeadura (janeiro/2020), em parcelas com semeadura realizada com semeadora equipada com haste sulcadora e discos duplos. Os resultados não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

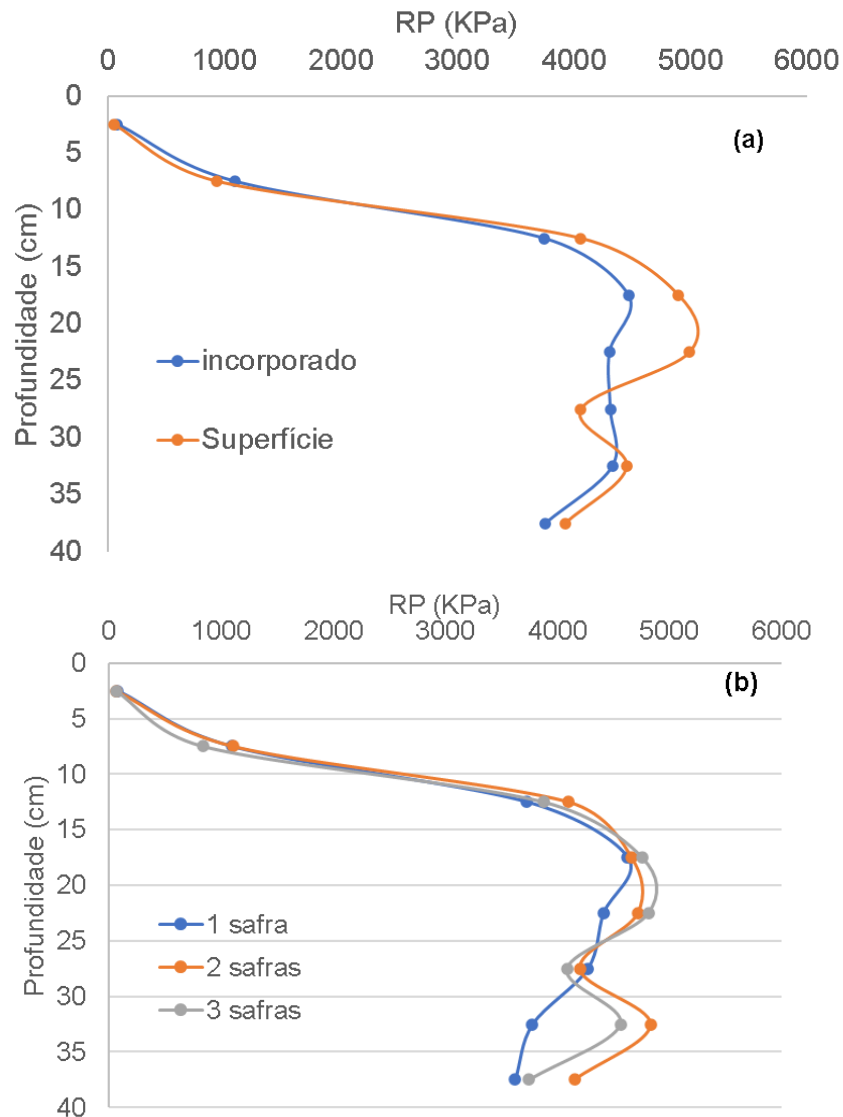
Os resultados da avaliação da resistência a penetração na entre linha de semeadura apresentaram resultados semelhantes aos encontrados na linha de semeadura. Nas parcelas com aplicação de corretivo em superfície e aplicação de corretivo incorporada, o incorporado apresentou menores valores de RP, principalmente na camada de 7-25 cm (Figura 3a). Já nos tratamentos de aporte de fitomassa, o tratamento manejado com três safras denotou melhoria na estrutura do solo apresentando RP menor que os demais tratamentos. Nesse tratamento os valores de RP se mantiveram inferiores a 2000 KPa em toda camada avaliada. Esse resultado apresenta muitos benefícios para o crescimento radicular das culturas, visto que este valor foi proposto como limite crítico de resistência a penetração (TAYLOR *et al.* (1966); TORMENA *et al.*, 1998). Outro fato que ocorreu nos valores para entre linha (Figura 3), que diferiu dos ocorridos nos resultados da linha de semeadura, foi a ocorrência de uma maior RP na parcela com médio aporte de fitomassa (2 safras/ano agrícola) quando comparada com o baixo aporte de fitomassa (1 safra/ano agrícola), não havendo uma explicação clara para esse resultado.



**Figura 3. Resistência do solo à penetração na entre linha de semeadura (janeiro/2020), em área submetida a aplicação de corretivo em superfície e aplicação de corretivo incorporada por aração (parcela principal) (a); e área submetida a diferentes modelos de produção com uma, duas e três safras por ano agrícola (subparcela) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).**

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a precipitação pluviométrica para o município de São Luiz Gonzaga no período de avaliação, anos 2020 e 2021, foram respectivamente de 1.451 mm e de 899,4 mm de precipitação total. Nesse sentido, é possível observar que no segundo ano avaliado a precipitação foi quase 500 mm inferior ao primeiro ano de estudo. Se considerarmos os períodos em que as avaliações foram realizadas, observa-se que a precipitação total do mês de janeiro de 2020 foi de 228,8 mm (INMET, 2020) e de apenas 66,6 mm para o mês de fevereiro de 2021 (INMET, 2021). Esse padrão de distribuição das chuvas pode ter influenciado o comportamento da RP nos dois anos de avaliação. De modo que no segundo ano de avaliação os valores observados foram superiores ao primeiro ano de estudo para todos os tratamentos (Figuras 4 e 5).

Os resultados obtidos na coleta de fevereiro de 2021, na amostragem da linha de semeadura e da realizada na entre linha de semeadura, apresentaram valores que não diferiram entre si, porém com valores superiores aqueles assumidos como críticos para a cultura. Apesar de apresentar valores inferiores a 1 MPa até a camada de 7 cm de profundidade, em todos os tratamentos, nas demais camadas os valores médios foram muito altos e ficaram acima do limite crítico de 2000 KPa (TAYLOR *et al.*,1966), atingindo valores superiores a 5000 KPa o que indica que as culturas encontram limitações físicas ao crescimento das raízes.

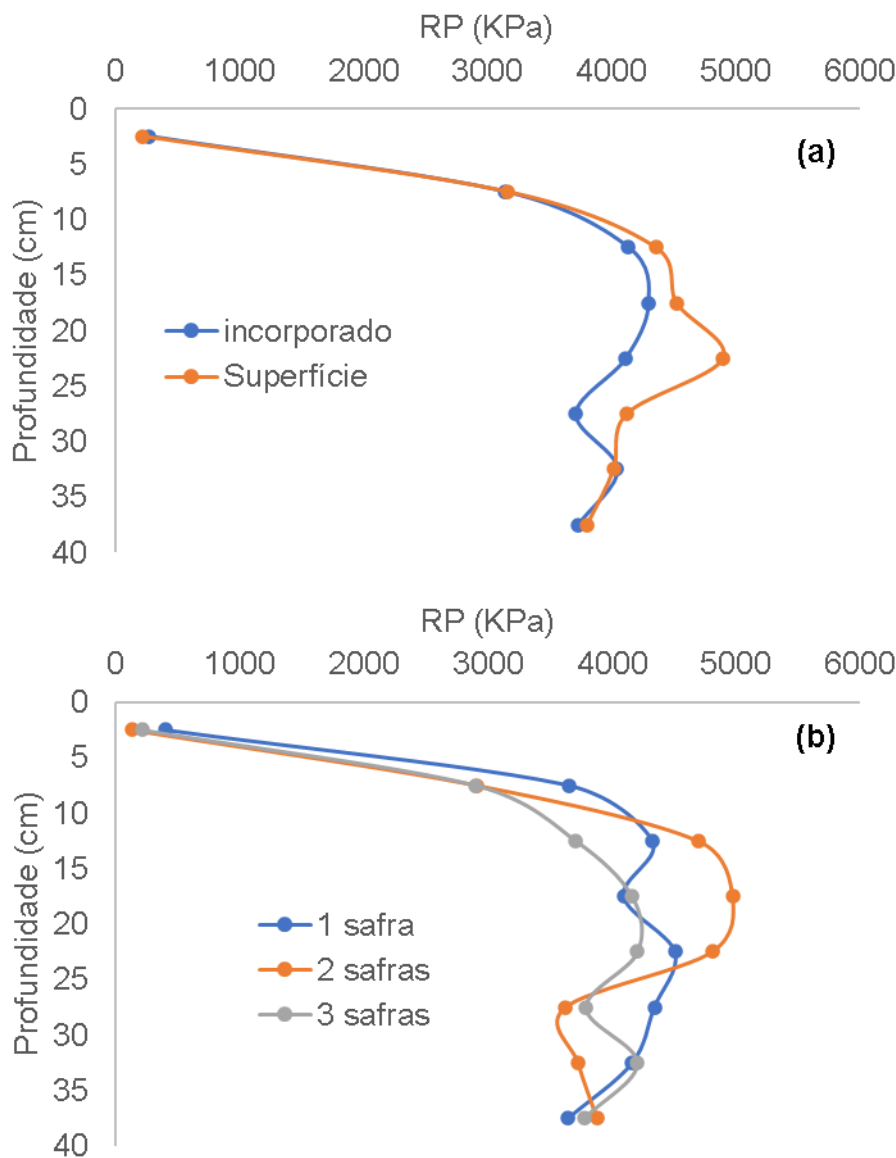


**Figura 4.** Resistência do solo à penetração na linha de semeadura (fevereiro/2021), em área submetida a aplicação de corretivo em superfície e aplicação de corretivo incorporada por aração (parcela principal) (a); e área submetida a diferentes modelos de produção com uma, duas e três safras por ano agrícola (subparcela) (b). Os resultados não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A resistência à penetração, além de apresentar correlação com fatores como textura e estrutura, é altamente dependente da umidade do solo (SILVA *et al.*, 2002), ocorrendo maior resistência a penetração das raízes das culturas quando em condições de baixa umidade. Segundo Cunha *et al.* (2002), com o aumento do teor de água, ocorre uma diminuição da atuação das forças

de coesão entre as partículas presentes no solo e o atrito interno, resultando assim em uma redução nos níveis de RP. Isso pode assim justificar os valores excessivos encontrados, levando em conta que pequenas variações no conteúdo de água roboram? em grandes alterações na resistência à penetração.

Em todos os tratamentos utilizados, à medida que aumenta a profundidade, até 25 cm, acontece um incremento nos níveis de resistência a penetração. Para a entrelinha de cultivo (Figura 5b), apesar de ainda ser superior ao limite assumido como crítico para o desenvolvimento radicular das culturas, o tratamento com três safras por ano agrícola, apresentou melhor ambiente com valores que não ultrapassaram o 4000 KPa. A utilização de rotação e/ou de sucessão de culturas, apresenta alto potencial para mitigar os efeitos de compactação dos solos (TEIXEIRA *et al.*, 2003), utilizando espécies com diferentes características de sistema radicular.



**Figura 5. Resistência do solo à penetração na entre linha de semeadura (fevereiro/2021), em área submetida a aplicação de corretivo em superfície e aplicação de corretivo incorporada por aração (parcela principal) (a); e área submetida a diferentes modelos de produção com uma, duas e três safras por ano agrícola (subparcela) (b). Os resultados não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).**



Do ponto de vista prático, os resultados levantados evidenciam a necessidade do uso de técnicas para aumentar e manter a umidade do solo, permanecendo próximos à capacidade de campo, consequentemente resultando em níveis menores de resistência a penetração, formando um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular das plantas. A manutenção dos teores de água mais elevados na camada superficial do solo, especialmente, com a presença contínua de deposição vegetal, tem potencial de alcançar menores níveis de resistência do solo à penetração (PEDROTTI *et al.*, 2001). Assim, acredita-se que a frequente deposição de fitomassa na camada superficial do solo, oriundas da rotação e/ou consorciação de culturas com culturas de elevado aporte de fitomassa permite a manutenção da umidade e melhora a qualidade física do solo, o que pode trazer benefícios para o incremento da produtividade das culturas e permitir a manutenção contínua do solo sob sistema plantio direto.

## Conclusões

1. Devido à alta deposição de fitomassa no solo, o tratamento que utilizou três safras por ano agrícola apresentou menores valores de resistência do solo a penetração mecânica, principalmente na camada de 5 -20 cm de profundidade, indicando ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular das culturas.
2. O calcário incorporado obteve os melhores resultados de resistência a penetração quando comparado com o calcário aplicado em superfície, principalmente na camada que entre 0,07 a 0,20 m de profundidade.
3. A utilização de semeadora equipada com haste sulcadora e, semeadora equipada exclusivamente com discos de corte, não apresentou resultados expressivos para a redução da resistência que o solo exerce à penetração.

## Referências

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

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, Luciano Baião; MAGALHÃES, Anderson Chagas. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1-4, p. 1-7, 2002.

DENARDIN, José Eloir. **Boletim Técnico Informativo - Sistema Plantio Direto**. Org. Comitê Gestor Estadual da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono – CGE ABC /RS. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201608/01145346-boletim-tecnico-informativo-sistemaplantio-direto.pdf>>. Acesso em 03 de junho de 2022.

DENARDIN, José Eloir et al. 15 de abril dia nacional da conservação do solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.10-15, 2011.

DRESCHER, Marta Sandra et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1713-1722, 2011.

FEBRAPDP. **Superfície sob plantio direto**. 2021. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-bbrazil-2021-jpg.jpg>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

DRESCHER, Marta Sandra et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 159-168, 2016.

DRESCHER, Marta Sandra et al. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1836-1844, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – **INMET**. Dados históricos anuais (2020). Brasília - DF, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – **INMET**. Dados históricos anuais (2021). Brasília - DF, 2021.

LEÃO, Tairone Paiva et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 415-422, 2004.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, Dalvan José. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

SAUERESSIG, Denise. **Sistema Plantio Direto: os pilares do equilíbrio**: Prática que revolucionou a agricultura brasileira, o plantio direto é adotado em mais de 30 milhões de hectares no País. [S. l.]: Revista A Granja, 21 jun. 2019. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/noticias/680/sistema-plantio-direto-os-pilares-do-equilibrio>. Acesso em: 3 jun. 2022.

SECCO, Deonir et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SILVA, AP da; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II-Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 9-16, 2002.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da et al. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1097-1104, 2009.

TAVARES FILHO, João; RIBON, Adriana Aparecida. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 487-494, 2008.

TAYLOR, Howard M.; ROBERSON, Gene M.; PARKER JR, Jessie J. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse-textured soil materials. **Soil science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TEIXEIRA, Claudia Fernanda Almeida; PAULETTO, Eloy Antonio; SILVA, João Baptista da. Resistência mecânica à penetração de um argissolo amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1165-1167, 2003.

TORMENA, Cassio Antonio; DA SILVA, Alvaro Pires; LIBARDI, Paulo Leonel. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v. 52, n. 3-4, p. 223-232, 1999.

TORMENA, Cássio Antonio; ROLOFF, Glaucio; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

TORMENA, Cássio Antonio et al. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.